

(43)公開日 平成15年10月3日(2003.10.3)

6 1 0      5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数50 O.L (全 30 頁)

弁理士 佐藤 勝

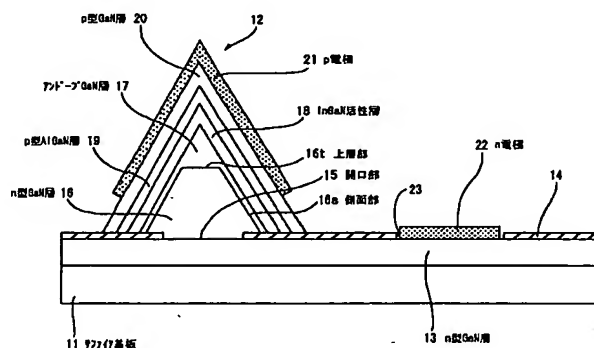
**最終頁に続く**

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子及び窒化物半導体素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 選択成長などによって素子構造を3次元化した場合においても、特性の優れた窒化物半導体素子とその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明の窒化物半導体素子は、側面部 16 s 及び上層部 16 t を有して 3 次元状に成長した結晶層の前記上層部はアンドープ窒化ガリウム層 17 などの高抵抗領域を介して電極層 21 が形成される。上層部 16 t に高抵抗領域を設けることで、その上層部 16 t の高抵抗領域を迂回するように電流が流れ、上層部 16 t を避けて側面部 16 s を主体とする電流経路が形成される。その結果、結晶性がよくない上層部 16 t に電流を流すことが抑制される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 側面部及び上層部を有して 3 次元状に成長した結晶層の前記上層部は高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 2】 前記側面部は前記結晶層の傾斜面からなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3】 前記上層部の形状は尖頭状又は平面状であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】 前記結晶層は、窒化物半導体層又は窒化物半導体基板上に成長阻害膜を形成した後、前記成長阻害膜を開口した開口部からの選択成長によって形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 5】 前記結晶層は、窒化物半導体層又は窒化物半導体基板を選択的に一部除去し、前記窒化物半導体層又は前記窒化物半導体基板の残存した部分からの結晶成長によって形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 6】 前記結晶層の底面部はストライプ形状であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 7】 前記結晶層の底面部は多角形状であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】 前記結晶層は基板上に形成され且つ該基板に平行な面を有しており、その基板に平行な面はウルツ鉱型結晶構造の C 面に対して  $\pm 10$  度以内の面であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 前記結晶層の前記側面部はウルツ鉱型結晶構造の {1、1、-2、-2} 面、{1、-1、0、1} 面、{1、1、-2、0} 面、又は {1、-1、0、0} 面のいずれかの面に対して  $\pm 10$  度以内の面であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 10】 前記高抵抗領域はアンドープ窒化物半導体層により形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】 前記高抵抗領域は p 型不純物が導入された窒化物半導体層により形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 12】 前記高抵抗領域は n 型不純物が導入された窒化物半導体層により形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 13】 前記上層部上には活性層を介して前記高抵抗領域が形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 14】 前記上層部上には前記高抵抗領域を介して活性層が形成されることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 15】 窒化物半導体層又は窒化物半導体基板上に成長する結晶層は結晶状態の良好な第 1 結晶部と結

晶状態が前記第 1 結晶部よりは劣化した第 2 結晶部とを有し、前記第 2 結晶部には高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 16】 側面部及び上層部を有して 3 次元状に成長した結晶層上に少なくとも第 1 導電領域と第 2 導電領域が形成されてなり、上層部における第 1 導電領域と第 2 導電領域の間の抵抗値は、側面部における第 1 導電領域と第 2 導電領域の間の抵抗値よりも大であることを特徴とする窒化物半導体素子。

10 【請求項 17】 前記上層部における第 1 導電領域と第 2 導電領域の間の抵抗値は、前記側面部における第 1 導電領域と第 2 導電領域の間の抵抗値の 1.5 倍以上であることを特徴とする請求項 16 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 18】 前記上層部における第 1 導電領域と第 2 導電領域の間の抵抗値は、前記側面部における第 1 導電領域と第 2 導電領域の間の抵抗値の 2 倍以上であることを特徴とする請求項 16 記載の窒化物半導体素子。

20 【請求項 19】 窒化物半導体層又は窒化物半導体基板上に選択成長によって結晶層を形成し、該結晶層の上層部が形成された後に結晶成長の条件を変えることで高抵抗領域を連続して形成し、前記高抵抗領域の形成後に電極層を形成することを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 20】 前記選択成長によって形成される結晶層は、前記窒化物半導体層又は前記窒化物半導体基板上に成長阻害膜を形成した後、前記成長阻害膜を開口した開口部からの成長によって形成されることを特徴とする請求項 19 記載の窒化物半導体素子の製造方法。

30 【請求項 21】 前記選択成長によって形成される結晶層は、前記窒化物半導体層又は前記窒化物半導体基板を選択的に除去した上で残された結晶から成長して形成されることを特徴とする請求項 19 記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 22】 前記高抵抗領域は断面三角形状の前記結晶層の頂点部分を構成するように形成されることを特徴とする請求項 19 記載の窒化物半導体素子の製造方法。

40 【請求項 23】 前記高抵抗領域は不純物を非導入とする条件で形成されることを特徴とする請求項 19 記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 24】 3 次元状に成長した結晶層の稜線部及びこの稜線部に沿った領域は、高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 25】 前記高抵抗領域は、アンドープ部を設けることにより形成されることを特徴とする請求項 24 記載の窒化物半導体素子。

50 【請求項 26】 前記高抵抗領域は、イオンが注入されてなるイオン注入部により形成されることを特徴とする請求項 24 記載の窒化物半導体素子。

【請求項27】 前記高抵抗領域は、p型不純物が導入された窒化物半導体層に対し、前記稜線部及びこの稜線部に沿った領域を除いて電子線の選択的な照射が行われて形成されることを特徴とする請求項24記載の窒化物半導体素子。

【請求項28】 前記結晶層は、上層部の形状が尖頭状又は平面状であることを特徴とする請求項24記載の窒化物半導体素子。

【請求項29】 前記結晶層は、底面部が多角形状であることを特徴とする請求項24記載の窒化物半導体素子。

【請求項30】 前記結晶層は、底面部がストライプ形状であることを特徴とする請求項24記載の窒化物半導体素子。

【請求項31】 3次元状に成長した結晶層の底辺部及びこの底辺部に沿った領域は、高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項32】 前記高抵抗領域は、アンドープ部を設けることにより形成されることを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体素子。

【請求項33】 前記高抵抗領域は、イオンが注入されてなるイオン注入部により形成されることを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体素子。

【請求項34】 前記高抵抗領域は、p型不純物が導入された窒化物半導体層に対し、前記稜線部及びこの稜線部に沿った領域を除いて電子線の選択的な照射が行われて形成されることを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体素子。

【請求項35】 前記結晶層は、上層部の形状が尖頭状又は平面状であることを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体素子。

【請求項36】 前記結晶層は、底面部が多角形状であることを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体素子。

【請求項37】 前記結晶層は、底面部がストライプ形状であることを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体素子。

【請求項38】 3次元状に成長した結晶層の稜線部及びこの稜線部に沿った領域を除いた平坦面部に電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項39】 前記結晶層は、上層部の形状が尖頭状又は平面状であることを特徴とする請求項38記載の窒化物半導体素子。

【請求項40】 前記結晶層は、底面部が多角形状であることを特徴とする請求項38記載の窒化物半導体素子。

【請求項41】 前記結晶層は、底面部がストライプ形状であることを特徴とする請求項38記載の窒化物半導体素子。

【請求項42】 3次元状に成長した結晶層の底辺部及

びこの底辺部に沿った領域を除いた平坦面部に電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項43】 前記結晶層は、上層部の形状が尖頭状又は平面状であることを特徴とする請求項42記載の窒化物半導体素子。

【請求項44】 前記結晶層は、底面部が多角形状であることを特徴とする請求項42記載の窒化物半導体素子。

【請求項45】 前記結晶層は、底面部がストライプ形状であることを特徴とする請求項42記載の窒化物半導体素子。

【請求項46】 側面部及び上層部を有して3次元状に成長した結晶層の前記上層部には電極層が形成されず前記側面部には電極層が形成されることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項47】 前記側面部の結晶層の稜線部及び該稜線部近傍及び前記側面部の結晶層の底面部及び該底面部近傍の全部又は一部には電極層が形成されないことを特徴とする請求項46記載の窒化物半導体素子。

【請求項48】 前記結晶層は、上層部の形状が尖頭状又は平面状であることを特徴とする請求項46記載の窒化物半導体素子。

【請求項49】 前記結晶層は、底面部が多角形状であることを特徴とする請求項46記載の窒化物半導体素子。

【請求項50】 前記結晶層は、底面部がストライプ形状であることを特徴とする請求項46記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は結晶成長された窒化物系半導体結晶層に電極層を形成し、発光などの機能を生じさせる窒化物半導体素子及びその製造方法に関し、特に効率的な電流注入を実現する窒化物半導体素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】GaN、AlGaN、GaInNなどの窒化物（ナイトライド）系III-V族化合物半導体は、その禁制帯幅が1.8eVから6.2eVに亘っており、赤色から紫外線の発光が可能な発光素子の実現が理論上可能であるため、近年注目を集めている。

【0003】この窒化物系III-V族化合物半導体により発光ダイオード（LED）や半導体レーザーを製造する場合には、GaN、AlGaN、GaInNなどを多層に積層し、発光層（活性層）をn型クラッド層およびp型クラッド層により挟んだ構造を形成する必要がある。このような発光ダイオードまたは半導体レーザーとして、発光層をGaInN/GaN量子井戸構造またはGaInN/AlGaN量子井戸構造としたものがあ

【0004】窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体の気相成長技術においては格子整合する基板や低転位密度の基板が存在しないために、従来よりサファイアなどの基板表面上に900℃以下の低温でAlNもしくは $Al_xGa_{1-x}N$  (xは0以上1未満) 低温バッファ層を堆積し、その後に窒化ガリウム系化合物半導体を成長し格子不整合に起因する転位を低減する技術がある。このような技術は、例えば、特開昭63-188938号公報や特公平8-8217号公報に開示されるものがあり、これらの技術を使用することで窒化ガリウム系化合物半導体層の結晶性およびモフォロジーを改善できる特徴がある。

【0005】さらに低転位密度の高品質結晶を得る技術としては、一旦第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を堆積した後に酸化珪素や窒化珪素などからなる窒化ガリウム系化合物半導体の成長を阻害する材料で保護膜を形成し、その保護膜で覆われていない領域から第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を面内方向(横方向)に成長することで、基板界面から垂直に伸びる貫通転位の伝播を妨げる技術がある(例えば、特開平10-312971号公報、特開平11-251253号公報参照。)。また、同様な技術としては一旦第1の窒化ガリウム系化合物半導体を成長した後に、リアクティブイオンエッチング装置(以下、RIE)などを用いてその膜を選択的に除去し、その後成長装置内で残された結晶から第二の窒化ガリウム系化合物半導体選択的に成長することで貫通転位密度を低減する技術がある(例えば、MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 4S1, G3, 38 (1999)、又はJournal of Crystal Growth 189/190 (1998) 83-86)。これらの技術を使用することで $10^6\text{ cm}^{-2}$ 程度までの転位密度を有する結晶膜が得られ、半導体レーザーの高寿命化などが実現されている。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】また、このような選択成長を用いることで、貫通転位の低減だけではなく、3次元的な構造を有する半導体素子を作成できる。例えば、窒化ガリウム系化合物半導体膜もしくは基板上に成長阻害膜を形成して開口部から選択的に結晶を成長させ、或いは窒化ガリウム系化合物半導体膜もしくは基板を選択的に除去した上で残された結晶から選択的に結晶を成長させることで、3次元的な構造を有する半導体素子構造を得ることができる。このような半導体素子はファセットからなる側面と側面の合流する頂点(上面)とからなる立体構造とされ、例えば素子分離の工程でのダメージが少なくなり、レーザーにおける電流狭窄構造を形成でき、更にはファセットとなる結晶面の特性を積極的に利用して結晶性の改善が可能であるなどの利点がある。

【0007】図30は選択成長により3次元状に形成される窒化物系発光素子の一例の断面図であり、この発光

素子はGaN系の発光ダイオードである。その構造については、サファイア基板330上に下地成長層としてのn型GaN層331が形成され、そのn型GaN層331上には開口部333が形成されたシリコン酸化膜332が被覆され、該シリコン酸化膜332の開口部333からの選択成長により六角錐形状のGaN層334が形成されている。

【0008】このGaN層334は、サファイア基板330の主面をC面とした場合にS面( $\{1-101\}$ 面)で覆われたピラミッド型の成長層であり、シリコンをドーブさせた領域である。このGaN層334の傾斜したS面の部分はクラッドとして機能する。GaN層334の傾斜したS面を覆うように活性層であるInGaN層335が形成されており、その外側にAlGaN層336とマグネシウムドーブのGaN層337が形成される。

【0009】このような発光ダイオードには、p電極338とn電極339が形成されている。p電極338はマグネシウムドーブのGaN層337上に形成されるNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。n電極339は前述のシリコン酸化膜332を開口した部分でTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0010】図31は従来の選択成長により3次元状に形成される窒化物系発光素子の他の一例の断面図であり、図30の窒化物系発光素子と同様に、サファイア基板350上に下地成長層としてのn型GaN層351が形成され、そのn型GaN層351上には開口部353が形成されたシリコン酸化膜352が被覆され、該シリコン酸化膜352の開口部353からの選択成長により断面矩形状の六角柱形状のGaN層354が形成される。

【0011】このGaN層354はシリコンをドーブさせた領域であり、選択成長の成長条件により $\{1-100\}$ 面を側面とする成長層に形成される。このGaN層354を覆うように活性層であるInGaN層355が形成されており、その外側にp型AlGaN層356とマグネシウムドーブのp型GaN層357が形成される。

【0012】このような発光ダイオードには、p電極358とn電極359が形成され、p電極358はマグネシウムドーブのGaN層357上に形成されるNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。n電極359は前述のシリコン酸化膜352を開口した部分でTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0013】しかし、このような選択成長を用いた場合に、頂点若しくは上面は成長速度の遅いファセットからなる側面に囲まれるために原料の供給が過多になり結晶性が劣化することがある。また、基板面積に比べて頂点

若しくは上面の面積が小さい場合に、その部分の膜厚や混晶組成の制御などが困難となる。従って、選択成長によって3次元構造の半導体素子を形成した場合であっても、上記理由により頂点若しくは上面の結晶性が悪く、非発光再結合による効率の低下、PN接合が正常に形成されないことによる電流のリークなどの諸問題が発生する。また、電極と接する導電型層の抵抗率と厚みによってはその層で電流が広がり、頂点若しくは上面に電流が注入されて素子特性が悪くなる傾向がある。

【0014】また、選択成長を用いた場合には、上述した頂点や上面と同様に、隣り合う側面の交線である稜線部とこの稜線部に沿った領域や、側面と底面との交線である底辺部とこの底辺部に沿った領域においても結晶性が悪く、非発光再結合による効率の低下、PN接合が正常に形成されないことによる電流のリークなどの問題が発生する。

【0015】そこで本発明は、選択成長などによって素子構造を3次元化した場合においても、特性の優れた窒化物半導体素子とその製造方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】 上述の課題を解決するために、本発明の窒化物半導体素子は、側面部及び上層部を有して3次元状に成長した結晶層の前記上層部は高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする。

【0017】本発明の窒化物半導体素子によれば、電極層から当該窒化物半導体素子を動作させるための電流が注入されるが、上層部に高抵抗領域が存在することから、その上層部の高抵抗領域を迂回するように電流が流れ、上層部を避けて側面部を主体とする電流経路が形成される。このような側面を主体とする電流経路を用いることで、結晶性が良くない上層部に電流を流すことが抑制される。

【0018】また、本発明の他の窒化物半導体素子は、窒化物半導体層又は窒化物半導体基板上に成長する結晶層は結晶状態の良好な第1結晶部と結晶状態が前記第1結晶部よりは劣化した第2結晶部とを有し、前記第2結晶部には高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする。

【0019】この窒化物半導体素子によれば、第2結晶部には高抵抗領域を介して電極層が形成されることから、当該第2結晶部を避けるような電流経路が形成されることになり、高抵抗領域の存在によって結晶状態の良くない第2結晶部よりも結晶状態の良好な第1結晶部に主な電流経路が形成されることになる。従って、能動素子として結晶状態の良好な部分を活用することができ、素子特性が最適なものとなる。

【0020】また、本発明の窒化物半導体素子の製造方法は、窒化物半導体層又は窒化物半導体基板上に選択成長によって結晶層を形成し、該結晶層の上層部が形成さ

れた後に結晶成長の条件を変えることで高抵抗領域を連続して形成し、前記高抵抗領域の形成後に電極層を形成することを特徴とする。

【0021】本発明の窒化物半導体素子の製造方法においては、選択成長によって形成される結晶層は、前記窒化物半導体層又は前記窒化物半導体基板上に成長阻害膜を形成した後、前記成長阻害膜を開口した開口部からの成長によって形成され、或いは前記窒化物半導体層又は前記窒化物半導体基板を選択的に除去した上で残された結晶から成長して形成される。

【0022】本発明の窒化物半導体素子の製造方法によれば、結晶層は選択成長によって形成され、選択成長を利用することで上層部及び側面部を伴うように結晶層が3次元状に成長する。この結晶成長と連続的に形成される高抵抗領域は結晶成長の条件を変えることで高抵抗化し、電極層からの電流経路を迂回させるように機能する。結晶層の上層部と高抵抗領域がその連続性から近接して配置され、結晶性が良くない上層部では電流が抑えられることになる。

【0023】また、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状に成長した結晶層の稜線部及びこの稜線部に沿った領域に、高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする。さらに、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状に成長した結晶層の底辺部及びこの底辺部に沿った領域に、高抵抗領域を介して電極層が形成されることを特徴とする。

【0024】このような高抵抗領域は、アンドープ部やイオンが注入されてなるイオン注入部の形成、又はp型不純物が導入された窒化物半導体層に対して電子線の選択的な照射を行うことによって形成される。

【0025】本発明の窒化物半導体素子によれば、電極層から当該窒化物半導体素子を動作させるための電流が注入されるが、稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域に高抵抗領域が存在することから、これらの領域における高抵抗領域を迂回するように電流が流れ、側面部、具体的には側面部の平坦面部分を主体とする電流経路が形成される。このような側面部の平坦面部分を主体とする電流経路を用いることで、結晶性が良くない稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域に電流を流すことが抑制される。

【0026】また、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状に成長した結晶層の稜線部及びこの稜線部に沿った領域を除いた平坦面部に電極層が形成されることを特徴とする。さらに、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状に成長した結晶層の底辺部及びこの底辺部に沿った領域を除いた平坦面部に電極層が形成されることを特徴とする。

【0027】本発明の窒化物半導体素子によれば、電極層から当該窒化物半導体素子を動作させるための電流が

注入されるが、稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域上には電極層を形成しないことから、電極層が形成された側面部、具体的には側面部の平坦面部分を主体とする電流経路が形成される。このような側面部の平坦面部分を主体とする電流経路を用いることで、結晶性が良くない稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域に電流を流すことが抑制される。

#### 【0028】

【発明の実施の形態】本発明にかかる窒化物半導体素子は、側面部及び上層部を有して3次元状に成長した結晶層の前記上層部は高抵抗領域を介して電極層が形成される構造を有することを特徴とする。

【0029】また、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状に成長した結晶層の稜線部及びこの稜線部に沿った領域に、高抵抗領域を介して電極層が形成される構造、或いは電極層が形成されない構造を有することを特徴とする。

【0030】さらに、本発明に係る窒化物半導体層は、3次元状に成長した結晶層の底辺部及びこの底辺部に沿った領域に、高抵抗領域を介して電極層が形成される構造、或いは電極層が形成されない構造を有することを特徴とする。

【0031】ここで電極層が形成されない構造としては、全面に電極層を形成して稜線や底面及びそれらの近傍で一部除去する構造や、稜線や底面及びそれらの近傍に予め部分的に絶縁膜を形成して直接接続するようには電極層を設けない構造や、稜線や底面及びそれらの近傍を避けて電極層を空間を通して配線するような構造であっても良い。また、本明細書において、3次元状とは、窒化物半導体層等からなる立体構造の形状であって、実質的な結晶面として構成される側面部及び上層部を有した形状である。典型的には多角形のピラミッド構造、多角形の角柱構造、ストライプ状の開口部を利用して形成された突条構造など、種々の構造を含む。

【0032】この3次元状に成長した結晶層は側面部と上層部を有している。このうち上層部は3次元状の結晶層の上側の領域である。六角錐形状などの角錐形状に結晶層が形成される場合では、上層部は結晶層の頂点部分とその近傍であり、角錐形状の頂点部分を欠いた結晶構造の場合では、上層部は上端面を含む領域である。底面がストライプ状で断面が三角形形状の場合は、上層部は傾斜面同士稜線部とその近傍であり、結晶層が稜線部を伴わない断面が台形形状の場合は、上層部は上端面とその近傍の領域である。結晶層が角柱形状の場合、上層部は角柱の上面部を含む領域とされる。また、結晶層の側面部は、前述の結晶層の上層部と結晶層の底面部との間の領域である。六角錐形状などの角錐形状に結晶層が形成される場合では、側面部は角錐状の結晶層の傾斜した結晶面であり、角錐形状の頂点部分を欠いた結晶構造の

場合でも同様に、側面部は結晶層の傾斜した結晶面である。結晶層の底面がストライプ状で断面が三角形形状若しくは稜線部を伴わない断面が台形形状の場合は、側面部は前記上層部と底面部の間の領域であり、傾斜したファセットを含む領域である。結晶層が角柱形状の場合、上層部は角柱の上面部を含む領域であることから、角柱形状の結晶層の側面部は上面部とほぼ垂直な側壁部分とされる。上層部と側面部は、その構成材料の点で同一の材料とすることができ、例えば、結晶層が角錐形状に構成される場合、頂点部とその近傍が上層部となり、その直下の部分から底面部分までの傾斜した結晶面を結晶層の側面部とすることができ、上層部と側面部は連続的な構成を有していても良い。

【0033】また、3次元状に成長した結晶層は、稜線部及び底辺部を有している。稜線部とは、隣り合う側面部、又は隣り合う側面部と上端面（上面部）との交線であり、底辺部とは、底面部と側面部との交線である。なお、以下の説明において、稜線部及び底辺部には、交線部分に加え、その交線に沿った領域を含むものとする。

【0034】3次元状に結晶層を成長させる場合、一例として結晶成長用にサファイア基板を用い、そのサファイア基板上にバッファ層などの成長下地層を形成し、その成長下地層からの選択成長などによって3次元状のファセット構造を有する結晶層を形成することが行われる。結晶成長により結晶成長層を形成する場合では、基板主面に対して傾斜した傾斜面としてS面及び{11-22}面またはこれらの各面に実質的に等価な面の中から選ばれる面を有することが望ましい。例えば、基板主面をC面とした場合では、傾斜面であるS面またはS面に実質的に等価な面を容易に形成することが可能である。S面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では(1-101)である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面GaN上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定面である。またC+面の面指数は(0001)である。このような基板主面に対して傾斜した傾斜面としてS面及び{11-22}面またはこれらの各面に実質的に等価な面をファセットとする結晶層を形成し、前述の如き上層部と側面部を形成することで、本発明にかかる構造の窒化物半導体素子を作成することができる。

【0035】本発明の窒化物半導体における結晶層は、典型的に選択成長法によって形成され、ここで窒化物半導体層の選択成長について説明する。選択成長は、成長阻害膜を利用する方法と、基板や半導体層の表面を選択的に除去する方法などによって行うことができる。成長阻害膜を利用する方法では、基体上に開口部を有する成長阻害膜を形成し、その状態で反応炉に基体ごと送り込



み、所要のキャリアガス及び原料ガスを供給して成長阻害膜上には窒化物半導体層を堆積せずに開口部に窒化物半導体層を選択的に形成する。基板や半導体層の表面を選択的に除去する方法では、下地成長層や基板の一部を選択的に除去されて、基板等の表面に凹凸が形成され、所要のキャリアガス及び原料ガスを供給して凹凸部分に3次元状の結晶層を成長させる方法である。

【0036】結晶層が成長する基体部分としては、窒化ガリウム系化合物半導体基板などの窒化物半導体基板もしくはサファイア基板などの基板とその基板上に成長した窒化物半導体層からなるように構成することができ、後者のように窒化物半導体層を基板上に成長させる場合では、当該基板として用いることができるのは、サファイア( $Al_2O_3$ 、A面、R面、C面を含む。)SiC(6H、4H、3Cを含む。)GaN、Si、ZnS、ZnO、AlN、LiMgO、GaAs、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、InAlGaNなどからなる基板であり、好ましくはこれらの材料からなる六方晶系基板または立方晶系基板であり、より好ましくは六方晶系基板である。例えば、サファイア基板を用いる場合では、窒化ガリウム

(GaN)系化合物半導体の材料を成長させる場合に多く利用されているC面を主面としたサファイア基板を用いることができる。この場合の基板主面としてのC面は、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。

【0037】基体の一部として窒化物半導体層が形成される場合、窒化物半導体層を形成する前に、下地成長層を基板上に形成することが好ましい。この下地成長層は例えば窒化ガリウム層や窒化アルミニウム層からなり、下地成長層は低温パッファ層と高温パッファ層との組合せ或いはパッファ層と結晶種として機能する結晶種層との組合せからなる構造であっても良い。この下地成長層は、種々の気相成長法で形成することができ、例えば有機金属化合物気相成長法(MOCVD法)や分子線エピタキシー法(MBE法)、ハイドライド気相成長法(HVPE法)などの気相成長法を用いることができる。

【0038】成長阻害膜を用いた選択成長の場合、このような基体上には成長阻害膜が形成される。成長阻害膜は例えばシリコン酸化膜やシリコン窒化膜などから構成され、この成長阻害膜で覆われた領域において窒化物半導体層の堆積を防ぐ機能を有し、成長阻害膜に設けられた開口部では、その底部に前記基体の表面が臨んで、その基体表面から開口部の範囲内で結晶成長が進められる。開口部の形成は、フォトリソグラフィ技術によって行われ、開口部の形状はストライプ状、円形状、六角形状などの多角形状などであるが、特に限定されるものではない。開口部を10 $\mu$ m程度の円形(或いは辺が1-100方向の六角形、または辺が1-20方向の六角形など)にすることでその約2倍程度の選択成長領域まで簡単に作製できる。またS面が基板と異なる方向で

あれば転位を曲げる効果、および転位を遮蔽する効果があるために、転位密度の低減にも役立つ。

【0039】基体上の成長阻害膜に開口部を形成したところで、選択成長により窒化物半導体層が選択的に成長される。窒化物半導体層としては、ウルツ鉱型の結晶構造を有する半導体材料を用いることが好ましい。このような窒化物半導体層としては、例えばIII族系化合物半導体やBeMgZnCdS系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体、窒化アルミニウム(AlN)系化合物半導体、窒化インジウム(InN)系化合物半導体、窒化インジウムガリウム(InGaN)系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)系化合物半導体を好ましくは形成することができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体が好ましい。なお、本発明において、InGaN、AlGaN、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えばInGaNでは、InGaNの作用を変化させない範囲での微量のAl、その他の不純物を含んでいても本発明の範囲であることはいうまでもない。

【0040】この結晶層の成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気相成長法(MOCVD(MOVPE)法)や分子線エピタキシー法(MBE法)などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法(HVPE法)などを用いることができる。その中でもMOVPE法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。MOVPE法では、GaソースとしてTMG(トリメチルガリウム)、TEG(トリエチルガリウム)、AlソースとしてはTMA(トリメチルアルミニウム)、TEA(トリエチルアルミニウム)、InソースとしてはTMI(トリメチルインジウム)、TEI(トリエチルインジウム)などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしてはSiであればシランガス、Geであればゲルマンガス、MgであればCp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)、ZnであればDEZ(ジエチルジンク)などのガスが使用される。MOCVD法では、これらのガスを例えば600℃以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、InAlGaN系化合物半導体をエピタキシャル成長させることができる。

【0041】選択成長によって、典型的には窒化物半導体層はファセットを伴った構造を呈する。例えば、基体若しくは基板の主面がC+面を有している場合では、窒化物半導体層の結晶の傾斜面としてS面を安定面として形成することが可能であり、このS面は選択成長した際に見られる比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では(1-101)である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存

在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面Ga<sub>2</sub>N上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定面である。またC+面の面指数は(0001)である。このS面については、前述のように窒化ガリウム系化合物半導体で窒化物半導体層を構成した場合には、S面上、GaからNへのボンド数が2または3とC-面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。例えば、C面を主面に有するサファイア基板に窒化物を成長した場合、一般にウルツ鉱型の窒化物の表面はC+面になるが、選択成長を利用することでS面を形成することができ、C面に平行な面では脱離しやすい傾向をもつNのボンドがGaから一本のボンドで結合しているのに対し、傾いたS面では少なくとも一本以上のボンドで結合することになる。従って、実効的にV/III比が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。また、選択成長マスクを用いて選択成長する場合には横方向成長させ窓領域より拡大した形状にすることができ、このようなマイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長をした方が貫通転位を避けやすくなり、転位が減ることがわかっている。またこのような横方向成長により素子を発光素子とする場合では、その発光領域も増大し、さらに電流の均一化、電流集中の回避、および電流密度の低減を図ることができる。

【0042】選択成長によって形成される窒化物半導体層はS面又はS面に実質的に等価な面などを伴ったファセット構造を有するが、典型的には成長が進む程、基体主面に平行な面での面積が段々と小さくなるように成長する。すなわち、窒化物半導体層は斜面を伴って角錐状或いはピラミッド状に成長するため、頂点部に近づくほど基体主面に平行な面での面積が段々と小さくなる。ここで頂点部とは、斜面同士が交差する尖頭部分であり、ストライプ状の開口部からは稜線となるような領域であり、また、六角錐状の窒化物半導体層を成長させる場合では最も高さが有る領域である。

【0043】本発明にかかる窒化物半導体素子は、3次元状の結晶層の上層部に高抵抗領域が形成される構造を有する。高抵抗領域は当該窒化物半導体素子に注入される電流の経路を側面側に移動させるための領域である。例えば、結晶層の上層部に第1導電領域としてn型窒化物半導体層を形成し、この上に活性層や第2導電層であるp型窒化物半導体層を形成して発光素子とする場合、n型頂上部とp型頂上部間の抵抗値が、n型側面部とそれに接したp型側面部間の抵抗値よりも大きくなるように頂上部を形成することが好ましい。n型頂上部とp型頂上部間の抵抗値がn型側面部とp型側面部間の抵抗値よりも小さいと、n型頂上部とp型頂上部間で電流が流

れ、結晶性の悪い活性層を流れるため、発光効率が低い無効電流になるなどの不都合が起こる。このとき、再現性の面からは、n型頂上部とp型頂上部間の抵抗値(上層部と電極層間の抵抗値)がn型側面部とp型側面部間の抵抗値(側面部と電極層間の抵抗値)の1.5倍以上であることが好ましく、さらに、電圧や電流密度を上げた際の特性を向上させるという面からは、2倍以上であることがより好ましい。

【0044】この高抵抗領域は、例えば、アンドープ窒化物半導体層、p型不純物が導入された窒化物半導体層、或いはn型不純物が導入された窒化物半導体層により形成される。高抵抗領域を窒化物半導体層を用いて形成する場合では、結晶層の上層部を形成した後に、結晶成長の条件を変えることで高抵抗領域を連続して形成することができる。すなわち、同じ反応炉内に素子形成用の基板を置いたまま、結晶成長条件としての不純物ガスの供給と停止、さらにはその濃度の制御などによって連続的に形成できる。例えば、アンドープ窒化物半導体層を形成する場合では不純物ガスの供給が停止され、p型不純物が導入された窒化物半導体層を形成する場合ではマグネシウムなどの不純物が導入され、n型不純物が導入された窒化物半導体層を形成する場合ではシリコンなどの不純物が導入される。アンドープ窒化物半導体層は不純物濃度が極めて低く、高抵抗領域とされる。p型不純物が導入された窒化物半導体層は周囲の層が反対導電型の窒化物半導体層であるn型窒化物半導体層である場合に、その界面にpn接合を形成し、周囲の層が同一導電型の窒化物半導体層であるp型窒化物半導体層である場合には当該p型不純物が導入された窒化物半導体層の不純物濃度を低濃度とすることで、周囲の層よりも相対的に高抵抗な領域となり、電流の経路を側面側に移動させる機能を発揮する。同様に、n型不純物が導入された窒化物半導体層は周囲の層が反対導電型の窒化物半導体層であるp型窒化物半導体層である場合に、その界面にpn接合を形成し、周囲の層が同一導電型の窒化物半導体層であるn型窒化物半導体層である場合には当該n型不純物が導入された窒化物半導体層の不純物濃度を低濃度とすることで、周囲の層よりも相対的に高抵抗な領域となり、電流の経路を側面側に移動させる機能を発揮する。高抵抗領域は結晶層を構成する窒化物半導体層と同じ材料とすることができるが、異なる材料で構成することも可能である。例えば結晶層をGa<sub>2</sub>N系半導体層とし、AlGa<sub>2</sub>N系半導体層で高抵抗領域を形成しても良い。

【0045】高抵抗領域としては、上述のように、窒化物半導体層に導入される不純物を制御することで構成することも可能であるが、シリコン酸化膜やシリコン窒化膜などの絶縁膜を結晶層の上層部に対して直接にまたは活性層などの他の層を介して間接的に形成するようにしても良い。シリコン酸化膜やシリコン窒化膜などの絶縁



膜は単層に限定されず、他の絶縁膜や、アンドープの化合物半導体層、その他の各種半導体層との複合膜などでも良い。

【0046】また、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状の結晶層の稜線部に高抵抗領域が形成される。この高抵抗領域は、結晶層の稜線部にアンドープ部を形成する方法やイオン注入（イオンインプランテーション）を行う方法、又はp型窒化物半導体層に電子線を選択的に照射する方法によって形成される。さらに、本発明に係る窒化物半導体素子は、3次元状の結晶層の底辺部に、稜線部に高抵抗領域を形成するのと同様の方法で、高抵抗領域が形成される。

【0047】このような高抵抗領域は、前述のように3次元状の結晶層の上層部や稜線部、底辺部に形成されるが、窒化物半導体素子として半導体発光素子が形成される場合には、高抵抗領域の形成の前後に活性層が形成される。すなわち、活性層の下部に高抵抗領域を形成することもでき、活性層の上部に高抵抗領域を形成することもできる。電極層はこのような高抵抗領域を介して結晶層上に形成される。電極層としては、例えばNi/Pt/Auからなる電極層が形成され、例えばTi/Alからなる電極層を対極側の電極層とすることができる。

【0048】また、本発明では、結晶層の側面部に効率的に電流が注入されるようにするために、上述した高抵抗領域を形成するのではなく、稜線部又は底辺部を除く側面部の平坦面部分（上端面や上面部を有する結晶層においては、これら上端面、上面部の平坦面部分を含む）にのみ電極層を形成している。

【0049】本発明にかかる窒化物半導体素子は、半導体を利用して作動する各種素子の構造をとることができ、一例として発光ダイオードや半導体レーザーなどの半導体発光素子とすることができるが、それら以外にも例えば電界効果型トランジスタや、受光素子などのその他の各種素子であっても良い。

【0050】このような構造を有する本発明にかかる窒化物半導体素子は、上層部や稜線部、底辺部に形成された高抵抗領域により、側面部を主体とする電流注入が行われる。特に、上層部に高抵抗領域が形成される場合、窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長においては、一般に成長速度や成長温度、成長圧力やV族原料とIII族原料の供給比などの成長条件により、形成されるファセットや表面における成長と脱離のバランスなどを制御することができ、これらの成長中に変調させることで、高抵抗領域を上層部に連続するように形成することができる。このため、活性層の近傍にも形成できることから、電流の広がりによるリークや非発光再結合も抑制することができる。

【0051】また、本発明にかかる窒化物半導体素子は、稜線部や底辺部に電極層を形成せずに側面部の平坦面部分（上端面や上面部を有する結晶層においては、こ

れら上端面、上面部の平坦面部分を含む）にのみ電極層を形成することにより、側面部を主体とする電流注入が行われる。

【0052】以下、各実施形態を参照しながら本発明を更に詳細に説明する。なお、本発明の窒化物半導体素子は、その要旨を逸脱しない範囲で変形、変更などが可能であり、本発明は以下の各実施形態に限定されるものではない。

【0053】【第1の実施形態】本実施形態は、図1に示すように、サファイア基板11上に六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造12が選択成長によって形成されており、3次元状として六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造12の部分に電極が形成されて発光ダイオードとして機能する。サファイア基板11上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層された窒化ガリウム層13が形成されており、その窒化ガリウム層13を覆うようにシリコン酸化膜14が形成されている。このシリコン酸化膜14は選択成長の際の成長阻害膜として機能し、当該シリコン酸化膜14に形成された開口部からの選択成長によって六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造12が形成される。

【0054】図2は六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造12の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板11上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層されたn型窒化ガリウム層13が形成されており、その窒化ガリウム層13を覆うようにシリコン酸化膜14が形成されている。シリコン酸化膜14にはほぼ正六角形の開口部15が形成され、その開口部15からの選択成長によってn型GaN層16が形成される。このサファイア基板11は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部15の一辺を[1、1、-2、0]方向に平行となるようにしている。一般に、このような開口部15を用いて選択成長をした場合では、その成長条件によってS面（{1、-1、0、1}面）を傾斜した側面とする六角錐形状の成長層が形成される。そこで、開口部15を用いて選択成長によってシリコンドーパのn型窒化ガリウム層16を形成する。

【0055】このn型窒化ガリウム層16は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流し、N原料としてのアンモニア（NH<sub>3</sub>）およびGa原料としてのトリメチルガリウム（TMGa、Ga（CH<sub>3</sub>）<sub>3</sub>）を供給して形成される。このn型窒化ガリウム層16には不純物としてのシリコンが導入される。n型窒化ガリウム層16は、完全な六角錐形状となる前に成長が停止され、その時点で不純物ガスの供給を停止することで、アンドープ窒化ガリウム層17となる。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性に対する妨げとはならない。アンドープ窒化ガリウム層17は、不純物濃度が極めて

低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。

【0056】不純物ガスの停止による成長層の切り替えによって、n型窒化ガリウム層16の成長は停止し、n型窒化ガリウム層16自体は尖頭部分を欠いた六角錐形状となり、その尖頭部分を欠いた上面部分が上層部16tとされ、傾斜した結晶層のS面の部分が側面部16sとされる。アンドープ窒化ガリウム層17の形状は、頂点部である上層部16t上で断面略三角形形状であり、側面部16sの部分で薄い膜で側面部16sの周囲を覆う。上層部16tの部分は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層17に連続することから、上層部16tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層17上に形成される活性層を流れる電流も抑えられることになる。

【0057】アンドープ窒化ガリウム層17上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層18であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層19とp型窒化ガリウム層20が積層される。p型AlGa<sub>N</sub>層19とp型窒化ガリウム層20には、不純物としてマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層20上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極21が形成される。n電極22は前述のシリコン酸化膜14を開口した開口部23にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0058】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGa<sub>N</sub>活性層18の下に、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層17が形成されており、このアンドープ窒化ガリウム層17はn型窒化ガリウム層16への上層部16tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層16に対して主に側面部16sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部16sに効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0059】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜14の開口部15の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角錐形状の結晶成長が可能である。また、傾斜した側面をS面ではなく、{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。

【0060】[第2の実施形態] 本実施形態は、図3に示すように、活性層の上に高抵抗領域を形成した例である。素子は六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造を有している点では、第1の実施形態と同じであり、窒化物半導体発光素子構造の内部構造が第1の実施形態のものとは異なっている。

【0061】図3は本実施形態の窒化物半導体素子の発

光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板31上には、アンドープのGa<sub>N</sub>層上にシリコン含有のGa<sub>N</sub>層が積層されたn型窒化ガリウム層33が形成されており、その窒化ガリウム層33を覆うようにシリコン酸化膜34が形成されている。シリコン酸化膜34にはほぼ正六角形の開口部35が形成され、その開口部35からの選択成長によってn型Ga<sub>N</sub>層36が形成される。このサファイア基板31は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部35の一边を[1、1、-2、0]方向に平行となるようにしている。この開口部35を用い、選択成長からシリコンドープのn型窒化ガリウム層36を形成する。

【0062】このn型窒化ガリウム層36は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流して形成される。このn型窒化ガリウム層36には不純物としてのシリコンが導入される。n型窒化ガリウム層36は、完全な六角錐形状となる前に成長が停止され、この停止時点でガスをTMI(トリメチルインジウム)やTEI(トリエチルインジウム)などを含むガスに切り替えてInGa<sub>N</sub>活性層37を形成する。InGa<sub>N</sub>活性層37はn型窒化ガリウム層36の上層部36tを覆うと共に側面部36sも被覆するように形成される。

【0063】この活性層としてのInGa<sub>N</sub>活性層37を形成した後、結晶成長を継続してアンドープ窒化ガリウム層38を形成する。このアンドープ窒化ガリウム層38は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。アンドープ窒化ガリウム層38の形状は、頂点部である上層部36t上で断面略三角形形状であり、側面部36sの部分で薄い膜でInGa<sub>N</sub>活性層37の周囲を覆う。上層部36tの部分は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層38にInGa<sub>N</sub>活性層37を介して連続することから、アンドープ窒化ガリウム層38の下部に形成され且つ上層部36tの上に形成されるInGa<sub>N</sub>活性層37を流れる電流も抑えられることになる。

【0064】アンドープ窒化ガリウム層38上には、p型AlGa<sub>N</sub>層39とp型窒化ガリウム層40が積層される。p型AlGa<sub>N</sub>層39とp型窒化ガリウム層40には、不純物としてマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層40上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極41が形成される。n電極42は前述のシリコン酸化膜34を開口した開口部43にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0065】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGa<sub>N</sub>活性層37の上に、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層38が形成されており、

このアンドープ窒化ガリウム層38はn型窒化ガリウム層36への上層部36tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層36に対して主に側面部36sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部36sの活性層に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0066】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜34の開口部35の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角錐形状の結晶成長が可能である。また、傾斜した側面をS面ではなく、{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。

【0067】[第3の実施形態] 本実施形態は、図4に示すように、活性層の上にp型窒化物半導体層を用いて高抵抗領域を形成した例である。素子は六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造を有している点では、第1の実施形態と同じであり、窒化物半導体発光素子構造の内部構造が第1の実施形態のものとは異なっている。

【0068】図4は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板51上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGa<sub>0.9</sub>N層が積層されたn型窒化ガリウム層53が形成されており、その窒化ガリウム層53を覆うようにシリコン酸化膜54が形成されている。シリコン酸化膜54にはほぼ正六角形の開口部55が形成され、その開口部55からの選択成長によってn型GaN層56が形成される。このサファイア基板51は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部55の一辺を[1、1、-2、0]方向に平行となるようにしている。この開口部55を用い、選択成長からシリコンドープのn型窒化ガリウム層56を形成する。

【0069】このn型窒化ガリウム層56は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流して形成される。このn型窒化ガリウム層56には不純物としてのシリコンが導入される。n型窒化ガリウム層56は、完全な六角錐形状となる前に成長が停止され、この停止時点でガスをTMI（トリメチルインジウム）やTEI（トリエチルインジウム）などを含むガスに切り替えてInGa<sub>0.9</sub>N活性層57を形成する。InGa<sub>0.9</sub>N活性層57はn型窒化ガリウム層56の上層部56tを覆うと共に側面部56sも被覆するように形成される。

【0070】この活性層としてのInGa<sub>0.9</sub>N活性層57を形成した後、結晶成長を継続してp型AlGa<sub>0.9</sub>N層58を形成する。このp型AlGa<sub>0.9</sub>N層58は、不純物濃度が低い窒化物半導体層であり、六角錐形状の頂点部分で厚く形成された高抵抗領域として上層部への電流の流

れ込みを防止する。このp型AlGa<sub>0.9</sub>N層58の不純物濃度は例えば $10 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下であり、モビリティも数 $\text{cm}^2 / \text{Vs}$ と低くなる。p型AlGa<sub>0.9</sub>N層58の形状は、頂点部である上層部56t上で断面略三角形状であり、側面部56sの部分で薄い膜でInGa<sub>0.9</sub>N活性層57の周囲を覆う。上層部56tの部分は、高抵抗領域であるp型AlGa<sub>0.9</sub>N層58の下部に位置することから上層部56tを介して流れる電流は抑えられることになる。

10 【0071】p型AlGa<sub>0.9</sub>N層58の上にはp型窒化ガリウム層59が積層される。p型AlGa<sub>0.9</sub>N層58とp型窒化ガリウム層59には、不純物として例えばマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層59上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極60が形成される。n電極61は前述のシリコン酸化膜54を開口した開口部62にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

20 【0072】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGa<sub>0.9</sub>N活性層57の上に、高抵抗領域であるp型AlGa<sub>0.9</sub>N層58が形成されており、このp型AlGa<sub>0.9</sub>N層58はn型窒化ガリウム層56への上層部56tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層56に対して主に側面部56sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部56sの活性層に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

30 【0073】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜54の開口部55の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角錐形状の結晶成長が可能である。また、傾斜した側面をS面ではなく、{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。

40 【0074】[第4の実施形態] 本実施形態は、図5に示すように、活性層の上に第4の実施形態と同様なp型窒化物半導体層を用いて高抵抗領域を形成した例である。素子は六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造を有している点では、第1の実施形態と同じであり、窒化物半導体発光素子構造の内部構造が第1の実施形態のものとは異なっている。

50 【0075】図5は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板71上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGa<sub>0.9</sub>N層が積層されたn型窒化ガリウム層73が形成されており、その窒化ガリウム層73を覆うようにシリコン酸化膜74が形成されている。シリコン酸化膜74にはほぼ正六角形の開口部75が形成され、その開口部75か

らの選択成長によってn型GaN層76が形成される。このサファイア基板71は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部75の一辺を〔1、1、-2、0〕方向に平行となるようにしている。この開口部75を用い、選択成長からシリコンドープのn型窒化ガリウム層76を形成する。

【0076】このn型窒化ガリウム層76は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流して形成される。このn型窒化ガリウム層76には不純物としてのシリコンが導入される。n型窒化ガリウム層76は、完全な六角錐形状となる前に成長が停止され、この停止時点でガスをTMI（トリメチルインジウム）やTEI（トリエチルインジウム）などを含むガスに切り替えてInGaN活性層77を形成する。InGaN活性層77はn型窒化ガリウム層76の上層部76tを覆うと共に側面部76sも被覆するように形成される。

【0077】この活性層としてのInGaN活性層77を形成した後、結晶成長を継続してp型AlGaN層78を形成し、さらにp型窒化ガリウム層79を形成する。p型窒化ガリウム層79は、不純物濃度が低い窒化物半導体層であり、六角錐形状の頂点部分で厚く形成された高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。p型窒化ガリウム層79の形状は、頂点部である上層部76t上で断面略三角形形状であり、当該頂点部で厚い膜厚で形成されている。p型窒化ガリウム層79は、側面部76sの部分で薄い膜であり、p型AlGaN層78の周囲を覆う。上層部76tの部分は、高抵抗領域であるp型窒化ガリウム層79の下部に位置することから上層部76tを介して流れる電流は抑えられることになる。p型AlGaN層78とp型窒化ガリウム層79には、不純物として例えばマグネシウムが導入される。

【0078】p型窒化ガリウム層79上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極80が形成される。n電極81は前述のシリコン酸化膜74を開口した開口部82にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0079】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、p型AlGaN層78の上に高抵抗領域であるp型窒化ガリウム層79が形成されており、このp型窒化ガリウム層79はn型窒化ガリウム層76への上層部76tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層76に対して主に側面部76sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部76sの活性層に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0080】なお、本実施形態においては、シリコン酸

化膜74の開口部75の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角錐形状の結晶成長が可能である。また、傾斜した側面をS面ではなく、{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。

【0081】〔第5の実施形態〕本実施形態は、図6に示すように、サファイア基板91上に3次元状として断面三角形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造92が選択成長によって形成されており、断面三角形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造92の部分に電極が形成されて発光ダイオードとして機能する。サファイア基板91上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層された窒化ガリウム層93が形成されており、その窒化ガリウム層93を覆うようにシリコン酸化膜94が形成されている。このシリコン酸化膜94は選択成長の際の成長阻害膜として機能し、当該シリコン酸化膜94に形成された開口部からの選択成長によって断面三角形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造92が形成される。

【0082】このような断面三角形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造92は、第1の実施形態の窒化物半導体発光素子構造12と同様な工程を以って形成することができ、シリコン酸化膜94に形成される開口部の形状をストライプ形状とすることで結晶成長させることができる。窒化物半導体発光素子構造92の内部構造としては、図2乃至図5に示す構造のものを作成できる。

【0083】〔第6の実施形態〕本実施形態は、図7に示すように、サファイア基板95上に3次元状として六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造96が選択成長によって形成されており、六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造96の部分にp電極が形成されて発光ダイオードとして機能する。サファイア基板95上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層された窒化ガリウム層97が形成されており、その窒化ガリウム層97を覆うようにシリコン酸化膜98が形成されている。このシリコン酸化膜98は選択成長の際の成長阻害膜として機能し、当該シリコン酸化膜98に形成された開口部からの選択成長によって六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造96が形成される。開口部は一辺を〔1、1、-2、0〕方向に平行となるようにしており、成長条件を調整することで、{1、-1、0、0}面を側面とする六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造96が得られる。

【0084】図8は六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造96の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板95上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層されたn型窒化ガリウム層96が形成されてお

り、その窒化ガリウム層 96 を覆うようにシリコン酸化膜 98 が形成されている。シリコン酸化膜 98 にはほぼ正六角形の開口部 99 が形成され、その開口部 99 からの選択成長によって n 型 GaN 層 100 が形成される。このサファイア基板 95 は主面を C 面とする基板であり、正六角形の開口部 99 の一边を [1、1、-2、0] 方向に平行となるようにしている。開口部 99 を用いて選択成長によってシリコンドープの n 型窒化ガリウム層 100 を形成する。

【0085】この n 型窒化ガリウム層 100 は、反応炉内にキャリアガスとして例えば  $H_2$  と  $N_2$  との混合ガスを流し、N 原料としてのアンモニア ( $NH_3$ ) および Ga 原料としてのトリメチルガリウム ( $TMGa$ 、 $Ga(CH_3)_3$ ) を供給して形成される。この n 型窒化ガリウム層 100 には不純物としてのシリコンが導入される。n 型窒化ガリウム層 100 は、六角柱形状となる様に形成され、その途中で不純物ガスの供給を停止することで、アンドープ窒化ガリウム層 101 が成長される。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性に対する妨げとはならない。アンドープ窒化ガリウム層 101 は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。

【0086】不純物ガスの停止による成長層の切り替えによって、n 型窒化ガリウム層 100 の成長は停止し、上層部 100t 上に厚くなり、側面部 100s の上で薄くなる形状で、アンドープ窒化ガリウム層 101 が成長する。上層部 100t の部分には、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層 101 に連続することから、上層部 100t を介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層 101 上に形成される活性層を流れる電流も抑えられることになる。

【0087】アンドープ窒化ガリウム層 101 上に形成される活性層はインジウムを含有する  $InGaN$  活性層 102 であり、その上に p 型  $AlGaIn$  層 103 と p 型窒化ガリウム層 104 が積層される。p 型  $AlGaIn$  層 103 と p 型窒化ガリウム層 104 には、不純物として例えばマグネシウムが導入される。p 型窒化ガリウム層 104 上には、 $Ni/Pt/Au$  または  $Ni(Pd)/Pt/Au$  などの金属材料を蒸着して p 電極 105 が形成される。n 電極 106 は前述のシリコン酸化膜 14 を開口した開口部 107 に  $Ti/Al/Pt/Au$  などの金属材料を蒸着して形成される。

【0088】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、 $InGaIn$  活性層 102 の下に、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層 101 が形成されており、このアンドープ窒化ガリウム層 101 は n 型窒化ガリウム層 100 への上層部 100t を介しての電流を抑え、n 型窒化ガリウム層 100 に対して主に側面部 100s を介して電流を流すように機能する。従って、頂点

部側よりも側面部 100s に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0089】[第 7 の実施形態] 本実施形態は、図 9 に示すように、活性層の上に高抵抗領域を形成した例である。素子は六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造を有している点では、第 6 の実施形態と同じであり、窒化物半導体発光素子構造の内部構造が第 1 の実施形態のものとは異なっている。

【0090】図 9 は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともに p 電極、n 電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板 111 上には、アンドープの GaN 層上にシリコン含有の GaN 層が積層された n 型窒化ガリウム層 113 が形成されており、その窒化ガリウム層 113 を覆うようにシリコン酸化膜 114 が形成されている。シリコン酸化膜 114 にはほぼ正六角形の開口部 115 が形成され、その開口部 115 からの選択成長によって n 型 GaN 層 116 が形成される。このサファイア基板 111 は主面を C 面とする基板であり、正六角形の開口部 115 の一边を [1、1、-2、0] 方向に平行となるようにしている。この開口部 115 を用い、選択成長からシリコンドープの n 型窒化ガリウム層 116 を形成する。

【0091】この n 型窒化ガリウム層 116 は、反応炉内にキャリアガスとして例えば  $H_2$  と  $N_2$  との混合ガスを流して形成される。この n 型窒化ガリウム層 116 には不純物としてのシリコンが導入される。n 型窒化ガリウム層 116 の形成後に、 $InGaIn$  活性層 123 が形成される。 $InGaIn$  活性層 123 は n 型窒化ガリウム層 116 の上層部 116t を覆うと共に側面部 116s も被覆するように形成される。

【0092】この活性層としての  $InGaIn$  活性層 123 を形成した後、結晶成長を継続してアンドープ窒化ガリウム層 117 を形成する。このアンドープ窒化ガリウム層 117 は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。アンドープ窒化ガリウム層 117 の形状は、頂点部である上層部 116t 上で膜厚の厚い形状であり、側面部 116s の部分で薄い膜となり、 $InGaIn$  活性層 123 の周囲を覆う。上層部 116t の部分は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層 117 に  $InGaIn$  活性層 123 を介して連続することから、アンドープ窒化ガリウム層 117 の下部に形成され且つ上層部 116t 上に形成される  $InGaIn$  活性層 123 を流れる電流も抑えられることになる。

【0093】アンドープ窒化ガリウム層 117 上には、p 型  $AlGaIn$  層 118 と p 型窒化ガリウム層 119 が積層される。p 型  $AlGaIn$  層 118 と p 型窒化ガリウム層 119 には、不純物として例えばマグネシウムが導入される。p 型窒化ガリウム層 119 上には、 $Ni/P$



t/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極120が形成される。n電極121は前述のシリコン酸化膜114を開口した開口部122にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0094】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGaN活性層123の上に、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層117が形成されており、このアンドープ窒化ガリウム層117はn型窒化ガリウム層116への上層部116tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層116に対して主に側面部116sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部116sの活性層に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0095】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜114の開口部115の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角柱形状の結晶成長が可能である。

【0096】[第8の実施形態] 本実施形態は、図10に示すように、活性層の上にp型窒化物半導体層を用いて高抵抗領域を形成した例である。素子は六角柱形状の窒化物半導体発光素子構造を有している点では、第6の実施形態と同じであり、窒化物半導体発光素子構造の内部構造が第6の実施形態のものとは異なっている。

【0097】図10は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板131上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層されたn型窒化ガリウム層133が形成されており、その窒化ガリウム層133を覆うようにシリコン酸化膜134が形成されている。シリコン酸化膜134にはほぼ正六角形の開口部135が形成され、その開口部135からの選択成長によってn型GaN層136が形成される。このサファイア基板131は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部135の一辺を[1、1、-2、0]方向に平行となるようにしている。この開口部135を用い、選択成長からシリコンドープのn型窒化ガリウム層136を形成する。

【0098】このn型窒化ガリウム層136は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流して形成される。このn型窒化ガリウム層136には不純物としてのシリコンが導入される。六角柱形状のn型窒化ガリウム層136を形成後、ガスをTMI(トリメチルインジウム)やTEI(トリエチルインジウム)などを含むガスに切り替えてInGaN活性層137を形成する。InGaN活性層137はn型窒化ガリウム層136の上層部136tを覆うと共に側面部136sも被覆するように形成される。

【0099】この活性層としてのInGaN活性層13

7を形成した後、結晶成長を継続してp型AlGaN層138を形成する。このp型AlGaN層138は、不純物濃度が低い窒化物半導体層であり、六角柱形状の上面部分で厚く形成された高抵抗領域として上層部136tへの電流の流れ込みを防止する。このp型AlGaN層138の不純物濃度は例えば $10 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下であり、モビリティも数 $\text{cm}^2 / \text{Vs}$ と低くなる。このp型AlGaN層138の形状は、上面部である上層部136t上で比較的に厚い膜厚とされ、側面部136sの部分で薄い膜厚とされてInGaN活性層137の周囲を覆う。上層部136tの部分は、高抵抗領域であるp型AlGaN層138の下部に位置することから上層部136tを介して流れる電流は抑えられることになる。

【0100】p型AlGaN層138の上にはp型窒化ガリウム層139が積層される。p型AlGaN層138とp型窒化ガリウム層139には、不純物として例えばマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層139上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極140が形成される。n電極141は前述のシリコン酸化膜134を開口した開口部142にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0101】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGaN活性層137の上に、高抵抗領域であるp型AlGaN層138が形成されており、このp型AlGaN層138はn型窒化ガリウム層136への上層部136tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層136に対して主に側面部136sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部136sの活性層に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0102】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜134の開口部135の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角柱形状の結晶成長が可能である。

【0103】[第9の実施形態] 本実施形態は、図11に示すように、活性層の上に第8の実施形態と同様なp型窒化物半導体層を用いて高抵抗領域を形成した例である。素子は六角錐形状の窒化物半導体発光素子構造を有している点では、第1の実施形態と同じであり、窒化物半導体発光素子構造の内部構造が第1の実施形態のものとは異なっている。

【0104】図11は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板151上には、アンドープのGaN層上にシリコン含有のGaN層が積層されたn型窒化ガリウム層153が形成されており、その窒化ガリウム層153を覆うようにシ



リコン酸化膜154が形成されている。シリコン酸化膜154にはほぼ正六角形の開口部155が形成され、その開口部155からの選択成長によってn型Ga<sub>0.5</sub>N層156が形成される。このサファイア基板151は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部155の一边を[1、1、-2、0]方向に平行となるようにしている。この開口部155を用い、選択成長からシリコンドープのn型窒化ガリウム層156を形成する。

【0105】このn型窒化ガリウム層156は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流して形成される。このn型窒化ガリウム層156には不純物としてのシリコンが導入される。六角柱形状のn型窒化ガリウム層156を形成した後、ガスを切り替えてInGa<sub>0.5</sub>N活性層157を形成する。InGa<sub>0.5</sub>N活性層157はn型窒化ガリウム層156の上層部156tを覆うと共に側面部156sも被覆するように形成される。

【0106】この活性層としてのInGa<sub>0.5</sub>N活性層157を形成した後、結晶成長を継続してp型AlGa<sub>0.5</sub>N層158を形成し、さらにp型窒化ガリウム層159を形成する。p型窒化ガリウム層159は、不純物濃度が低い窒化物半導体層であり、六角柱形状の上面部分で厚く形成された高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。p型窒化ガリウム層159の形状は上層部156t上で厚い膜厚で形成されている。同時にp型窒化ガリウム層159は、側面部156sの部分で薄い膜であり、p型AlGa<sub>0.5</sub>N層158の周囲を覆う。上層部156tの部分は、高抵抗領域であるp型窒化ガリウム層159の厚い膜厚部分の下部に位置することから上層部156tを介して流れる電流は抑えられることになる。p型AlGa<sub>0.5</sub>N層158とp型窒化ガリウム層159には、不純物として例えばマグネシウムが導入される。

【0107】p型窒化ガリウム層159上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極160が形成される。n電極161は前述のシリコン酸化膜154を開口した開口部162にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0108】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、p型AlGa<sub>0.5</sub>N層158の上に高抵抗領域であるp型窒化ガリウム層159が形成されており、このp型窒化ガリウム層159はn型窒化ガリウム層156への上層部156tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層156に対して主に側面部156sを介して電流を流すように機能する。従って、上面側よりも側面部156sの活性層に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0109】なお、本実施形態においては、シリコン酸

化膜154の開口部155の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角柱形状の結晶成長が可能である。

【0110】【第10の実施形態】本実施形態は、図12に示すように、サファイア基板171上に断面矩形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造172が選択成長によって形成されており、断面矩形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造172の部分に電極が形成されて発光ダイオードとして機能する。サファイア基板171上には、アンドープのGa<sub>0.5</sub>N層上にシリコン含有のGa<sub>0.5</sub>N層が積層された窒化ガリウム層173が形成されており、その窒化ガリウム層173を覆うようにシリコン酸化膜174が形成されている。このシリコン酸化膜174は選択成長の際の成長阻害膜として機能し、当該シリコン酸化膜174に形成された開口部175からの選択成長によって断面矩形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造172が形成される。

【0111】このような断面矩形形状のストライプ状の窒化物半導体発光素子構造172は、第6の実施形態の窒化物半導体発光素子構造96と同様な工程を以て形成することができ、シリコン酸化膜174に形成される開口部の形状をストライプ形状とすることで結晶成長させることができる。窒化物半導体発光素子構造172の内部構造としては、図8乃至図11に示す構造のものを作成できる。

【0112】【第11の実施形態】本実施形態は、図13に示すように、基板から結晶層を剥離し、その裏面に透明電極を形成した構造である。尖頭部分を欠いた六角錐形状であるn型窒化ガリウム層181のS面からなる傾斜面が側面部181sとされ、C面からなる上面が上層部181tとされる。このように側面部181sと上層部181tとが形成されたn型窒化ガリウム層181は、アンドープ窒化ガリウム層182に被覆されている。

【0113】n型窒化ガリウム層181の成長時に完全な六角錐形状となる前に成長を停止させ、その時点で不純物ガスの供給を停止することで、アンドープ窒化ガリウム層182が形成される。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性に対する妨げとはならない。アンドープ窒化ガリウム層182は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。

【0114】n型窒化ガリウム層181自体は尖頭部分を欠いた六角錐形状となり、その尖頭部分を欠いた上面部分が上層部181tとされ、傾斜した結晶層のS面の部分が側面部181sとされる。アンドープ窒化ガリウム層182の形状は、頂点部である上層部181t上で断面略三角形形状であり、側面部181sの部分で薄い膜で側面部181sの周囲を覆う。上層部181tの部分

は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層182に連続することから、上層部181tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層182上に形成される活性層を流れる電流も抑えられることになる。

【0115】アンドープ窒化ガリウム層182上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層183であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層184とp型窒化ガリウム層185が積層される。p型AlGa<sub>N</sub>層184とp型窒化ガリウム層185には、不純物としてマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層185上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極186が形成される。n電極は、本実施形態においては、ITO膜などの透明n電極187であり、成長基板をレーザーアブレーションなどによって剥離した後のn型窒化ガリウム層181の裏面に形成される。

【0116】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGa<sub>N</sub>活性層183の下に、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層182が形成されており、このアンドープ窒化ガリウム層182はn型窒化ガリウム層181への上層部181tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層181に対して主に側面部181sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部181sに効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0117】なお、傾斜した側面はS面ではなく、

{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。また、n型窒化ガリウム層181等を六角錐形状としているが、断面三角形形状のストライプ状であっても良い。前述の透明n電極187は、この透明n電極187が設けられた側から光を取り出す場合の構成であり、例えばストライプ状に延在される結晶層を半導体レーザーの活性層とし、光をそのストライプと平行に取り出す場合には、透明電極以外の電極を形成することができる。

【0118】[第12の実施形態] 本実施形態は、導電性基板を用いた構成例であり、図14に示す構造を有する。図14に示すように、導電性基板としてn型シリコンカーバイド基板191が使用され、そのn型シリコンカーバイド基板191上にシリコンなどの不純物を含有するn型窒化ガリウム層192が形成される。n型窒化ガリウム層192は、底面でn型シリコンカーバイド基板191に接続され、例えば六角錐形状となるように選択成長等の方法で3次元状に形成される。

【0119】尖頭部分を欠いた六角錐形状であるn型窒化ガリウム層192のS面からなる傾斜面が側面部192sとされ、C面からなる上面が上層部192tとされる。このように側面部192sと上層部192tとが形

成されたn型窒化ガリウム層192は、アンドープ窒化ガリウム層193に被覆されている。

【0120】n型窒化ガリウム層192の成長時に完全な六角錐形状となる前に成長を停止させ、その時点で不純物ガスの供給を停止することで、アンドープ窒化ガリウム層193が形成される。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性に対する妨げとはならない。アンドープ窒化ガリウム層193は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。

【0121】n型窒化ガリウム層192自体は尖頭部分を欠いた六角錐形状となり、その尖頭部分を欠いた上面部分が上層部192tとされ、傾斜した結晶層のS面の部分が側面部192sとされる。アンドープ窒化ガリウム層193の形状は、頂点部である上層部192t上で断面略三角形形状であり、側面部192sの部分で薄い膜で側面部192sの周囲を覆う。上層部192tの部分は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層193に連続することから、上層部192tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層193上に形成される活性層を流れる電流も抑えられることになる。

【0122】アンドープ窒化ガリウム層193上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層194であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層195とp型窒化ガリウム層196が積層される。p型AlGa<sub>N</sub>層195とp型窒化ガリウム層196には、不純物としてマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層196上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極197が形成される。n電極198は、本実施形態においては、Ti/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して導電性基板であるn型シリコンカーバイド基板191に直接形成される。

【0123】このような構造の本実施形態の窒化物半導体素子は、InGa<sub>N</sub>活性層194の下に、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層193が形成されており、このアンドープ窒化ガリウム層193はn型窒化ガリウム層192への上層部192tを介しての電流を抑え、n型窒化ガリウム層192に対して主に側面部192sを介して電流を流すように機能する。従って、頂点部側よりも側面部192sに効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0124】なお、傾斜した側面はS面ではなく、

{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。また、n型窒化ガリウム層192の形状は尖頭部分を欠いた六角錐形状に限らず、断面台形形状のストライプ状の

n型窒化ガリウム層を形成することも可能である。

【0125】[第13の実施形態]本実施形態は、第11の実施形態の窒化物半導体素子の変形例であり、n型シリコンカーバイド基板201上に六角錐形状の素子が形成される例である。図15に示すように、本実施形態の窒化物半導体素子は、裏面に透明n電極208が形成されたn型シリコンカーバイド基板201上に、n型窒化ガリウム層202が形成される構造とされる。

【0126】このn型窒化ガリウム層202は、例えば尖頭部分を欠いた六角錐形状となるように選択成長等の方法で3次元状に形成される。n型窒化ガリウム層202のS面からなる傾斜面が側面部202sとされ、C面からなる上面が上層部202tとされる。このように側面部202sと上層部202tとが形成されたn型窒化ガリウム層202は、アンドープ窒化ガリウム層203に被覆されている。

【0127】n型窒化ガリウム層202の成長時に完全な六角錐形状となる前に成長を停止させ、その時点で不純物ガスの供給を停止することで、アンドープ窒化ガリウム層203が形成される。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性に対する妨げとはならない。アンドープ窒化ガリウム層203は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。アンドープ窒化ガリウム層203の形状は、頂点部である上層部202t上で断面略三角形形状であり、側面部202sの部分で薄い膜で側面部202sの周囲を覆う。上層部202tの部分は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層203に連続することから、上層部202tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層203上に形成される活性層を流れる電流も頂点付近では確実に抑制されることになる。

【0128】アンドープ窒化ガリウム層203上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層204であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層205とp型窒化ガリウム層206が積層される。p型AlGa<sub>N</sub>層205とp型窒化ガリウム層206には、不純物としてマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層206上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極207が形成される。

【0129】このような構造の素子においても、上面側よりも側面部202s側の活性層204に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。n型窒化ガリウム層等を六角錐形状としているが、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0130】[第14の実施形態]本実施形態の窒化物半導体素子は、アンドープの窒化物半導体層を用いて高抵抗

抗領域を形成した例である。

【0131】図16は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板210上には、アンドープのGa<sub>N</sub>層上にシリコン含有のGa<sub>N</sub>層が積層されたn型窒化ガリウム層211が形成されており、その窒化ガリウム層211を覆うようにシリコン酸化膜220が形成されている。シリコン酸化膜220にはほぼ正六角形の開口部219が形成され、その開口部219からの選択成長によってn型Ga<sub>N</sub>層212が形成される。このサファイア基板210は主面をC面とする基板であり、正六角形の開口部219の一边を[1、1、-2、0]方向に平行となるようにしている。この開口部219を用い、選択成長からシリコンドープのn型窒化ガリウム層212を形成する。

【0132】このn型窒化ガリウム層212は、例えばS面を斜面とする構造とされ、六角錐形状の尖頭部を欠いた形状に形成されて、斜面部212sとC面からなる上層部212tとが形成される。このn型窒化ガリウム層212を形成した後、ガスを切り替えてアンドープ窒化ガリウム層213を形成する。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性を維持できる。アンドープ窒化ガリウム層213は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部への電流の流れ込みを防止する。アンドープ窒化ガリウム層213の形状は、上層部212t上でC面に平行な面を有した厚い膜厚の形状とされ、側面部212sの部分で薄い膜で側面部212sの周囲を覆う。上層部212tの部分は、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層213に連続することから、上層部212tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層213上に形成される活性層214を流れる電流も上層部212t側で確実に抑制されることになる。

【0133】アンドープ窒化ガリウム層213上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層214であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層215とp型窒化ガリウム層216が積層される。これらInGa<sub>N</sub>活性層214、p型AlGa<sub>N</sub>層215、p型窒化ガリウム層216は、上層部212tのC面を反映してそれぞれC面をファセットとして有する構造とされる。p型窒化ガリウム層216上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極217が形成される。また、n電極218は前述のシリコン酸化膜220を開口した開口部にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0134】このような構造の素子においても、上面側よりも側面部212s側の活性層214に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。n型窒化

ガリウム層等を六角錐形状としているが、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0135】[第15の実施形態]本実施形態の窒化物半導体素子は、中央が窪んだ形状のシリコンドープのn型窒化ガリウム層を形成して、中央で厚く形成されアンドープの窒化物半導体層を高抵抗領域として利用する例である。

【0136】図17は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板231上には、アンドープのGa<sub>0.9</sub>N層上にシリコン含有のGa<sub>0.9</sub>N層が積層されたn型窒化ガリウム層232が形成されており、その窒化ガリウム層232を覆うようにシリコン酸化膜233が形成されている。シリコン酸化膜233にはほぼ正六角形外周部の内側中央部分に略正六角形の島状の成長阻害部を有した開口部234が形成され、その開口部234からの選択成長によってn型Ga<sub>0.9</sub>N層235が形成される。このサファイア基板231は主面をC面とする基板であり、島状の成長阻害部を反映して選択成長から中央が窪んだ形状のシリコンドープのn型窒化ガリウム層235が形成される。

【0137】このn型窒化ガリウム層235は、例えばS面を斜面とする構造とされるが、中央部分が逆六角錐状に窪んだ凹部となり、S面から構成される斜面部235sと中央が窪んだ形状の上層部235tとが形成される。このn型窒化ガリウム層235を形成した後、ガスを切り替えてアンドープ窒化ガリウム層236を形成する。この不純物ガスの停止による切り替えは同じ反応炉で連続的に行うことができ、生産性を維持できる。アンドープ窒化ガリウム層236は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層であり、高抵抗領域として上層部235tへの電流の流れ込みを防止する。アンドープ窒化ガリウム層236の形状は、上層部235tの中央の凹部を埋めこみ且つ頂点部を有するように形成される。側面部235sの部分では、アンドープ窒化ガリウム層236は薄い膜であり、側面部235sの周囲を覆う。上層部235tの部分では、中央部分で厚く形成された高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層236に連続することから、上層部235tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層236上に形成される活性層237を流れる電流も上層部235t側で確実に抑制されることになる。

【0138】アンドープ窒化ガリウム層236上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>0.9</sub>N活性層237であり、その上にp型AlGa<sub>0.9</sub>N層238とp型窒化ガリウム層239が積層される。p型窒化ガリウム層239上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極240が形成される。また、n電極241は前述のシリコン酸化膜233を開口した開口部242にTi/Al/Pt/

Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0139】このような構造の素子においても、中央に凹部を有して高抵抗領域が厚く形成された上層部235t側よりも側面部235s側の活性層237に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。n型窒化ガリウム層等を六角錐形状としているが、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

10 【0140】[第16の実施形態]本実施形態の窒化物半導体素子は、n型窒化ガリウム層を2段に形成して、電流を注入する側面部の範囲を特定する構造の素子である。

【0141】図18は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。サファイア基板251上には、アンドープのGa<sub>0.9</sub>N層上にシリコン含有のGa<sub>0.9</sub>N層が積層されたn型窒化ガリウム層252が形成されており、その窒化ガリウム層252を覆うようにシリコン酸化膜253が形成されている。シリコン酸化膜253にはほぼ正六角形の開口部254が形成され、その開口部254からの選択成長によって下段のn型Ga<sub>0.9</sub>N層255が形成される。このサファイア基板251は主面をC面とする基板であり、選択成長から傾斜面を例えばS面とする形状のシリコンドープのn型窒化ガリウム層255が形成される。

【0142】このn型窒化ガリウム層255は、例えばS面を斜面として有し、C面からなる上面が形成される断面台形形状の領域に成長する。n型窒化ガリウム層255の周囲には、アンドープ窒化ガリウム層256が形成される。このアンドープ窒化ガリウム層256は高抵抗な比較的厚い膜厚でn型窒化ガリウム層255の斜面に素子構造の基板に近い側の斜面を覆って形成され、斜面の一部だけに電流を流すように機能する。このアンドープ窒化ガリウム層256の上には、該アンドープ窒化ガリウム層256と連続する形で上段のn型窒化ガリウム層257が形成される。上段のn型窒化ガリウム層257は、断面台形状に形成され、そのS面からなる斜面が側面部257sとされ、上側のC面からなるファセットが上層部257tとされる。

40 【0143】上段のn型窒化ガリウム層257の上には、更にアンドープ窒化ガリウム層258が形成される。アンドープ窒化ガリウム層258の形状は上層部257t上で断面略三角形形状であり、側面部257sの部分で薄い膜で側面部257sの周囲を覆う。上層部257tの部分では、高抵抗領域であるアンドープ窒化ガリウム層258に連続することから、上層部257tを介して流れる電流は抑えられ、その結果、アンドープ窒化ガリウム層257上に形成される活性層259を流れる電流も抑えられることになる。

【0144】アンドープ窒化ガリウム層258上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層259であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層260とp型窒化ガリウム層261が積層される。p型窒化ガリウム層261上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極262が形成される。また、n電極263は前述のシリコン酸化膜253を開口した開口部264にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0145】このような構造の素子では、2つのアンドープ窒化ガリウム層256、258がそれぞれ高抵抗領域として機能し、これらアンドープ窒化ガリウム層256、258に挟まれたn型窒化ガリウム層257の側面部257sを主体に電流が流れることになり、その結果、結晶性が良くない頂点部と底面部を除いて電流が流れることから、特にリーク電流の少なく、発光効率の高いデバイスを実現できる。なお、n型窒化ガリウム層等を六角錐形状としているが、断面三角形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0146】[第17の実施形態]

【0147】本実施形態は窒化物半導体素子の製造方法の例であり、図19乃至図21を参照しながら、その工程順に製造方法について説明する。

【0148】図19に示すように、サファイア基板271上に有機金属気相成長法により、n型窒化ガリウム層272を形成する。次いで、フォトリソグラフィによって、n型窒化ガリウム層272上に形成したレジスト層を選択的に露光及び除去し、残されたレジスト層の間に臨むn型窒化ガリウム層272の表面から、図20に示すように、反応性イオンエッチングによってn型窒化ガリウム層272を部分的に除去する。残されるn型窒化ガリウム層272は[1、1、-2、0]に平行なストライプ状とされる。このn型窒化ガリウム層272の部分的な除去により、サファイア基板271の表面は一部露出することになる。

【0149】再度、有機金属気相成長法によって窒化物半導体の結晶層を形成する。当初、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流し、N原料としてのアンモニア(NH<sub>3</sub>)およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa、Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)を供給してn型窒化ガリウム層を形成し、次いで、不純物ガスの供給を停止してアンドープ窒化ガリウム層を形成する。アンドープ窒化ガリウム層の形成後、トリメチルインジウム(IMG)などを使用してInGa<sub>N</sub>層を活性層として形成し、さらに反応炉に供給されるガスを切り替えることでAlGa<sub>N</sub>層とp型Ga<sub>N</sub>層を形成して、図21に示すような断面三角形状の窒化物半導体素子構造273が形成される。

【0150】この窒化物半導体素子構造273においては、途中で形成されたアンドープ窒化ガリウム層が高抵

抗領域として機能し、結晶性の良くない頂点部などへの電流を抑制できる。

【0151】[第18の実施形態] 本実施形態は、図22(a)及び(b)に示すように、窒化物半導体発光素子構造の稜線部に高抵抗領域としてアンドープ部を形成した例である。なお、同図(a)は、相対向する稜線部間を結ぶ線における窒化物半導体発光素子構造の縦断面図である。

【0152】図22(a)は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す。サファイア基板281上には、アンドープのGa<sub>N</sub>層上にシリコン含有のGa<sub>N</sub>層が積層されたn型窒化ガリウム層282が形成されており、そのn型窒化ガリウム層282を覆うようにシリコン酸化膜283が形成されている。シリコン酸化膜283にはほぼ正六角形の開口部284が形成され、その開口部284からの選択成長によってシリコンドープのn型Ga<sub>N</sub>層285が形成される。

【0153】このn型Ga<sub>N</sub>層285は、反応炉内にキャリアガスとして例えばH<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>との混合ガスを流し、N原料としてのアンモニア(NH<sub>3</sub>)およびGa原料としてのトリメチルガリウム(TMGa、Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)を供給して形成される。このn型Ga<sub>N</sub>層285には不純物としてのシリコンが導入される。

【0154】n型Ga<sub>N</sub>層285上に形成される活性層はインジウムを含有するInGa<sub>N</sub>活性層286であり、その上にp型AlGa<sub>N</sub>層287とp型窒化ガリウム層288が積層される。p型AlGa<sub>N</sub>層287とp型窒化ガリウム層288には、不純物としてマグネシウムが導入される。p型窒化ガリウム層288上には、Ni/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着してp電極289が形成される。n電極290は、前述のシリコン酸化膜283を開口した開口部284にTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。

【0155】このような本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造においては、図22(a)及び(b)に示すように、稜線部にアンドープ部291が形成されている。このアンドープ部291は、不純物濃度が極めて低く、稜線部に位置するn型Ga<sub>N</sub>層285への電流の注入を抑え、n型Ga<sub>N</sub>層285に対して主に側面部285sの平坦面部分を介して電流を流すように機能する。従って、結晶性の良くない稜線部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0156】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜283の開口部284の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角錐形状の結晶成長が可能である。また、



傾斜した側面をS面ではなく、{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。さらに、本実施の形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0157】また、本実施形態においては、InGaN活性層286よりも下層側にアンドープ層291を形成しているが、このような構造に限定されるものではなく、InGaN活性層286よりも上層側に形成するものであってもよい。

【0158】[第19の実施形態] 本実施形態は、図23(a)及び(b)に示すように、窒化物半導体発光素子構造の稜線部にイオンの注入、いわゆるイオンインプランテーションを施して高抵抗領域とした例である。同図(a)は、相対向する稜線部間を結ぶ線における窒化物半導体発光素子構造の縦断面図である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0159】図23(a)は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す。このような窒化物半導体発光素子構造においては、図23(a)及び(b)に示すように、稜線部にイオンインプランテーションを施して、高抵抗領域であるイオン注入部292が形成される。イオンインプランテーションは、イオン注入装置により、例えば窒素イオンを加速して窒化物半導体発光素子構造に打ち込むことによって行われる。なお、この実施形態においてイオンインプランテーションは、窒素を用いて行ったが、アルミニウムで行ってもよい。また、イオンインプランテーションは集束イオンビームにより注入する方法で行うこともできる。

【0160】イオンインプランテーションが施された領域は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層となって高抵抗化し、稜線部に位置するn型GaN層285への電流の注入を抑え、n型GaN層285に対して主に側面部285sの平坦面部分を介して電流を流すように機能する。従って、結晶性の良くない稜線部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0161】なお、本実施形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0162】[第20の実施形態] 本実施形態は、図24(a)及び(b)に示すように、窒化物半導体発光素

子構造の稜線部以外の部分に電子線を選択的に照射して活性化させることにより、電子線が照射されなかった稜線部を高抵抗領域とした例である。同図(a)は、相対向する稜線部間を結ぶ線における窒化物半導体発光素子構造の縦断面図である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0163】図24(a)は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す。このような窒化物半導体発光素子構造においては、図24(a)及び(b)に示すように、稜線部を除いたp型の窒化物半導体層に電子線の照射が行われる。

【0164】電子線の放射は、p型の窒化物半導体層(p型AlGaN層287、p型窒化ガリウム層288)の活性化に必要であり、電子線の照射が行われなかった領域、すなわち稜線部のp型窒化物半導体層は活性化されずに不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層(以下、非活性化部293と称する。)となって高抵抗化する。この稜線部における非活性化部293によって、稜線部における電流の流れが抑えられ、n型GaN層285に対して主に側面部285sの平坦面部分を介して電流を流すように機能する。従って、結晶性の良くない稜線部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0165】なお、本実施形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0166】[第21の実施形態] 本実施形態は、図25に示すように、窒化物半導体発光素子構造の稜線部以外の部分にのみp電極を形成した例である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0167】このような構成を有する窒化物半導体発光素子では、稜線部を除く部分にp電極289を選択的に形成することによって、n型GaN層285に対して主にp電極289が形成された側面部285sの平坦面部分を介して電流が流れるように機能する。従って、結晶性の良くない稜線部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0168】なお、本実施形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状



や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0169】〔第22の実施形態〕本実施形態は、図26に示すように、窒化物半導体発光素子構造の底辺部に高抵抗領域としてアンドープ部を形成した例である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0170】図26は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。このような本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造においては、同図に示すように、底辺部にアンドープ部294が形成されている。このアンドープ部294は、不純物濃度が極めて低く、底辺部に位置するn型GaN層285への電流の注入を抑え、n型GaN層285に対して主に側面部285sの平坦面部分を介して電流を流すように機能する。従って、結晶性の良くない稜線部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0171】なお、本実施形態においては、シリコン酸化膜283の開口部284の形状をほぼ正六角形としたが、その他の多角形や円形などの形状でも成長条件により、同様な六角錐形状の結晶成長が可能である。また、傾斜した側面をS面ではなく、{1、1、-2、2}面とすることも可能であり、同様にリーク電流を抑えた素子を形成することができる。さらに、本実施形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0172】また、本実施形態においては、InGaN活性層286よりも下層側にアンドープ層294を形成しているが、このような構造に限定されるものではなく、InGaN活性層286よりも上層側に形成するものであってもよい。

【0173】〔第23の実施形態〕本実施形態は、図27に示すように、窒化物半導体発光素子構造の底辺部にイオンの注入、いわゆるイオンインプランテーションを施して高抵抗領域とした例である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0174】図27は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。このような窒化物半導体発光素子構造においては、同図に示すように、底辺部にイオンインプランテーションを施して、高抵抗領域であるイオン注入部295が形成される。イオンイン

プランテーションは、イオン注入装置により、例えば窒素イオンを加速して窒化物半導体発光素子構造に打ち込むことによって行われる。なお、この実施形態においてイオンインプランテーションは、窒素を用いて行ったが、アルミニウムで行ってもよい。また、イオンインプランテーションは集束イオンビームにより注入する方法で行うこともできる。

【0175】イオンインプランテーションが施されたイオン注入部295は、不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層となって高抵抗化し、底辺部に位置するn型GaN層285への電流の注入を抑え、n型GaN層285に対して主に側面部285sの平坦面部分を介して電流を流すように機能する。従って、結晶性の良くない底辺部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0176】なお、本実施形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0177】〔第24の実施形態〕本実施形態は、図28に示すように、窒化物半導体発光素子構造の底辺部以外の部分に電子線を選択的に照射して活性化させることにより、電子線が照射されなかった底辺部を高抵抗領域とした例である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0178】図28は本実施形態の窒化物半導体素子の発光素子構造の内部構造を示すとともにp電極、n電極を形成した構造を示す断面図である。このような窒化物半導体発光素子構造においては、図28(a)及び(b)に示すように、底辺部を除いたp型の窒化物半導体層に電子線の照射が行われる。

【0179】電子線の放射は、p型の窒化物半導体層(p型AlGaN層287、p型窒化ガリウム層288)の活性化に必要であり、電子線の照射が行われなかった領域、すなわち底辺部のp型窒化物半導体層は活性化されずに不純物濃度が極めて低い窒化物半導体層(以下、非活性化部296と称する。)となって高抵抗化する。この高抵抗化した底辺部のp型窒化物半導体層たる非活性化部296は、底辺部における電流の流れを抑え、n型GaN層285に対して主に側面部285sの平坦面部分を介して電流を流すように機能する。従って、結晶性の良くない底辺部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0180】なお、本実施形態においては、六角錐体状

の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0181】第25の実施形態 本実施形態は、図29に示すように、窒化物半導体発光素子構造の底辺部以外の部分にのみp電極を形成した例である。なお、本実施形態に係る窒化物半導体発光素子構造については、上述した第18の実施形態と同様の構成を有する部位については同一符号を付し説明は省略する。

【0182】このような構成を有する窒化物半導体発光素子では、底辺部を除く部分にp電極289を選択的に形成することによって、n型GaN層285に対して主にp電極289が形成された側面部285sの平坦面部分を介して電流が流れるように機能する。従って、結晶性の良くない底辺部よりも側面部285sの平坦面部分に効率的に電流が注入されることになり、リーク電流の少ない発光効率の高い発光ダイオードが得られることになる。

【0183】なお、本実施形態においては、六角錐体状の窒化物半導体発光素子構造について説明したが、このような形状に限定されるものではなく、他の多角錐形状や多角錐台状、断面三角形形状若しくは断面台形形状のストライプ状であっても良い。

【0184】上述の実施形態においては、主に発光ダイオード構造の素子について説明したが、同様の構成に共振面を形成することで半導体レーザーとすることも可能である。また、本発明の窒化物半導体素子としては、半導体発光素子に限定されず、電界効果型トランジスタや、受光素子、その他の光学部品などの素子であっても良い。

【0185】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体素子及び窒化物半導体素子の製造方法によれば、電極層から当該窒化物半導体素子を動作させるための電流が注入されるが、上層部に高抵抗領域が存在することから、その上層部の高抵抗領域を迂回するように電流が流れ、上層部を避けて側面部を主体とする電流経路が形成される。このような側面を主体とする電流経路を用いることで、結晶性が良くない上層部に電流を流すことが抑制される。従って、リーク電流の少なく、発光効率の高いデバイスを実現できることになる。

【0186】本発明の窒化物半導体素子の製造に際しては、結晶成長工程において自己形成的に作成されるため、フォトリソグラフィなどの外部プロセスを必要としない。従って、プロセスの簡略化も実現される。また、このような3次元形状を有する半導体デバイス上のフォトリソグラフィなどの困難性を回避することができ、活性層近傍に高抵抗層を形成することができるため、外部に高抵抗部を形成した場合などに比べて、電流

の広がりによる電流のリークパスへの回り込みも抑えられる。

【0187】また、本発明に係る窒化物半導体素子によれば、電極層から窒化物半導体素子を動作させるための電流が注入されるが、稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域に高抵抗領域を形成することで、これらの領域における高抵抗領域を迂回するように電流が流れ、側面部、具体的には側面部の平坦面部分を主体とする電流経路を形成することができる。このような電流経路を用いることで、結晶性が良くない稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域に電流を流すことを抑制でき、この結果、リーク電流の少なく、発光効率の高いデバイスを実現できることになる。

【0188】さらに、本発明の窒化物半導体素子によれば、電極層から当該窒化物半導体素子を動作させるための電流が注入されるが、稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域上には電極層を形成しないことで、電極層が形成された側面部、具体的には側面部の平坦面部分を主体とする電流経路を形成することができる。このような電流経路を用いることで、結晶性が良くない稜線部及びこの稜線部に沿った領域、又は底辺部及びこの底辺部に沿った領域に電流を流すことを抑制でき、この結果、リーク電流の少なく、発光効率の高いデバイスを実現できることになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態にかかる半導体発光素子の斜視断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図3】本発明の第2の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図4】本発明の第3の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図5】本発明の第4の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図6】本発明の第5の実施形態にかかる半導体発光素子の斜視断面図である。

【図7】本発明の第6の実施形態にかかる半導体発光素子の斜視断面図である。

【図8】本発明の第6の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図9】本発明の第7の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図10】本発明の第8の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図11】本発明の第9の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図12】本発明の第10の実施形態にかかる半導体発光素子の斜視断面図である。

43

【図13】本発明の第11の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図14】本発明の第12の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図15】本発明の第13の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図16】本発明の第14の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図17】本発明の第15の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図18】本発明の第16の実施形態にかかる半導体発光素子の断面図である。

【図19】本発明の第17の実施形態にかかる半導体発光素子の製造方法の工程斜視断面図であり、窒化ガリウム層の形成工程までの斜視断面図である。

【図20】本発明の第17の実施形態にかかる半導体発光素子の製造方法の工程斜視断面図であり、窒化ガリウム層の選択的除去工程までの斜視断面図である。

【図21】本発明の第17の実施形態にかかる半導体発光素子の製造方法の工程斜視断面図であり、窒化物半導体素子構造の形成工程までの斜視断面図である。

【図22】本発明の第18の実施形態にかかる半導体発光素子の図であり、(a)は縦断面図、(b)は水平断面図である。

【図23】本発明の第19の実施形態にかかる半導体発光素子の図であり、(a)は縦断面図、(b)は水平断面図である。

【図24】本発明の第20の実施形態にかかる半導体発光素子の図であり、(a)は縦断面図、(b)は水平断面図である。

【図25】本発明の第21の実施形態にかかる半導体発光素子の斜視図である。

【図26】本発明の第22の実施形態にかかる半導体発光素子の縦断面図である。

【図27】本発明の第23の実施形態にかかる半導体発光素子の縦断面図である。

【図28】本発明の第24の実施形態にかかる半導体発光素子の縦断面図である。

【図29】本発明の第25の実施形態にかかる半導体発光素子の斜視図である。

【図30】半導体発光素子の一例を示す断面図である。

【図31】半導体発光素子の他の一例を示す断面図である。

【符号の説明】

44

11、31、51、71、91、95、111、131、151、171、210、231、251、27

1、281 サファイア基板

13、33、53、73、93、97、113、13

3、153、173、211、232、252、282

n型窒化ガリウム層

14、34、54、74、94、98、114、13

4、154、174、220、233、253、283

シリコン酸化膜

10 16、36、56、76、100、116、136、1

56、181、192、202、212、235、25

5、257、272、285 n型窒化ガリウム層

17、38、101、117、182、193、20

3、213、236、258 アンドープ窒化ガリウム

層

18、37、57、77、102、123、137、1

57、183、194、204、214、237、25

9、286 InGaN活性層

19、39、58、78、103、118、138、1

20 58、184、195、205、215、238、26

0、287 AlGaN層

20、40、59、79、104、119、139、1

59、185、196、206、216、239、26

1、288 p型窒化ガリウム層

21、41、60、80、105、120、140、1

60、186、197、207、217、240、26

2、289 p電極

22、42、61、81、106、121、141、1

30 61、198、218、241、263、290 n電

極

187、208 透明n型電極

191、201 n型シリコンカーバイド基板

16t、36t、56t、76t、100t、116

t、136t、156t、181t、192t、202

t、212t、235t、255t、257t、272

t 上層部

16s、36s、56s、76s、100s、116

s、136s、156s、181s、192s、202

s、212s、235s、255s、257s、272

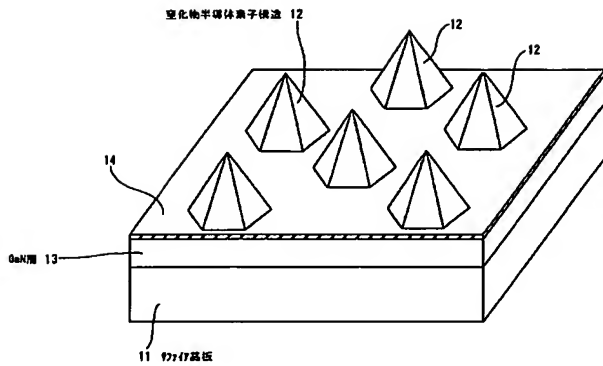
40 s、285s 側面部

291、294 アンドープ部

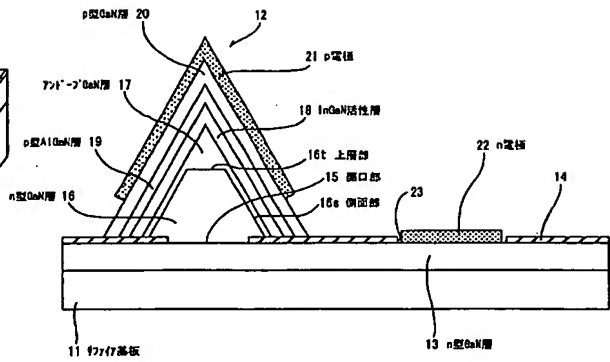
292、295 イオン注入部

293、296 非活性化部

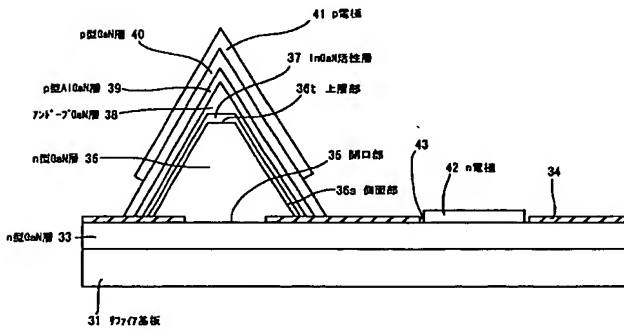
【図1】



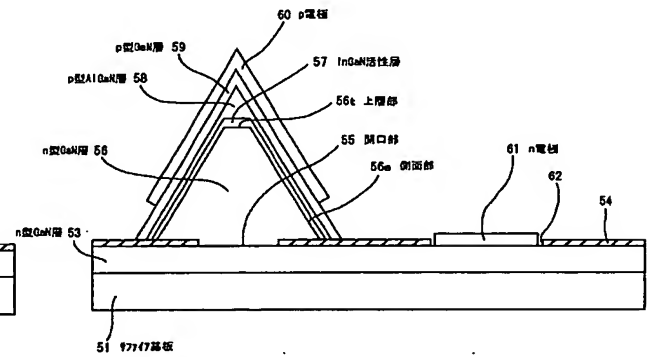
【図2】



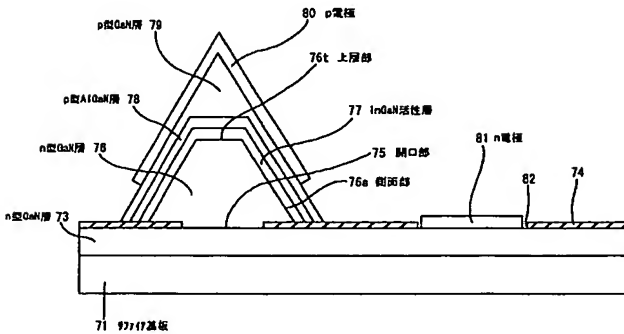
【図3】



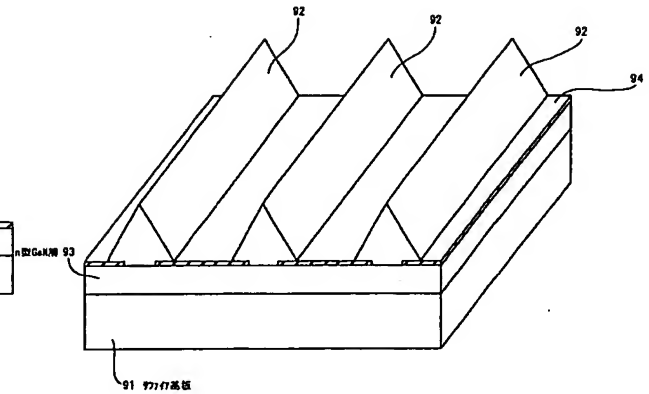
【図4】



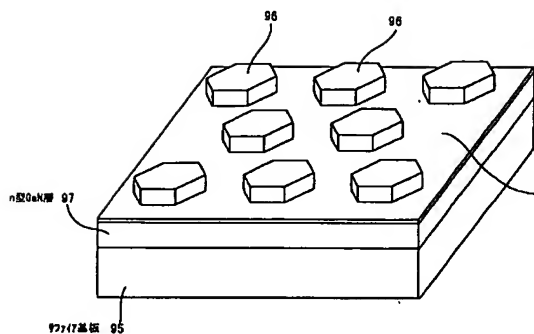
【図5】



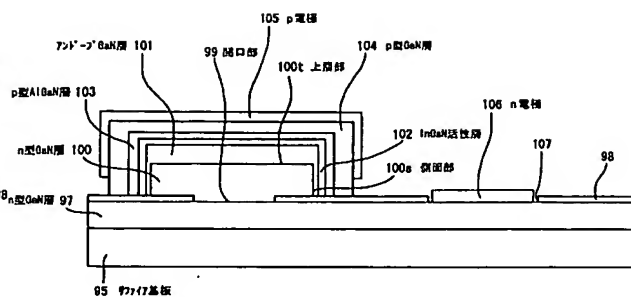
【図6】



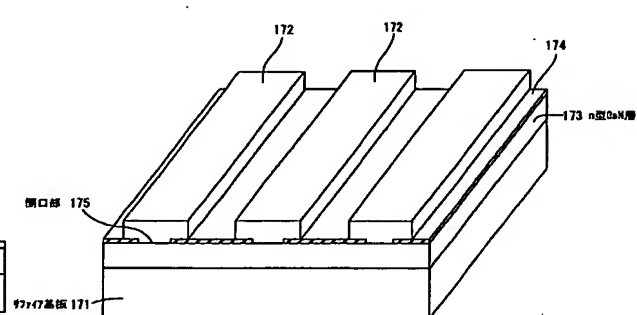
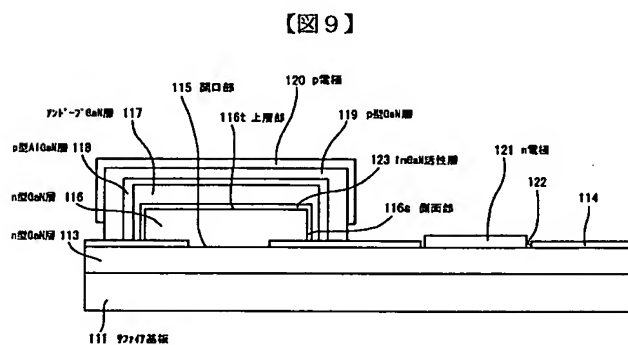
【図7】



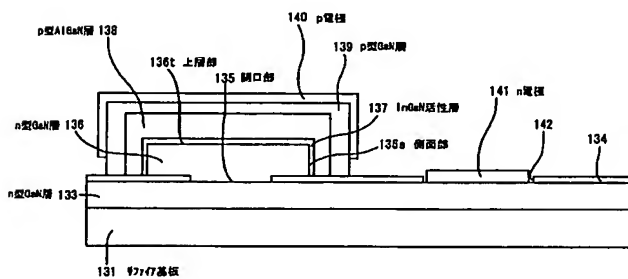
【図8】



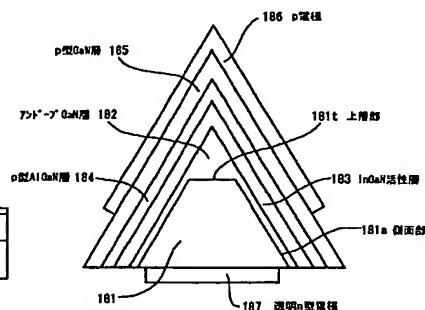
【図12】



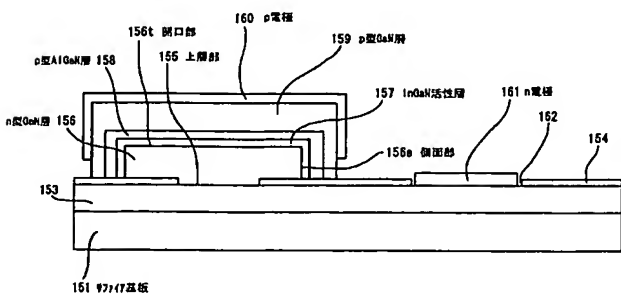
【図10】



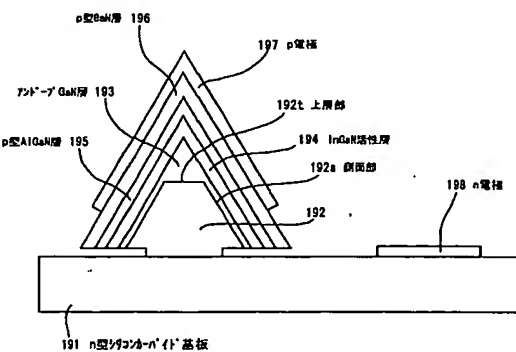
【図13】



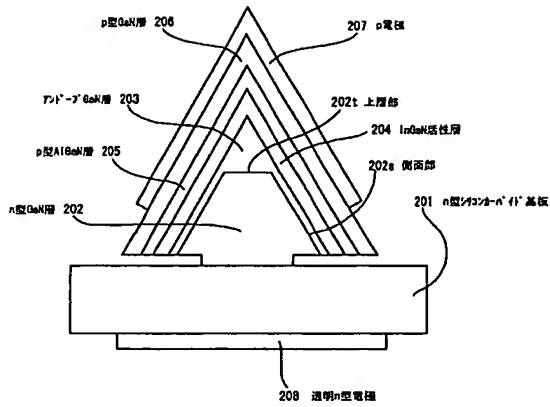
【図11】



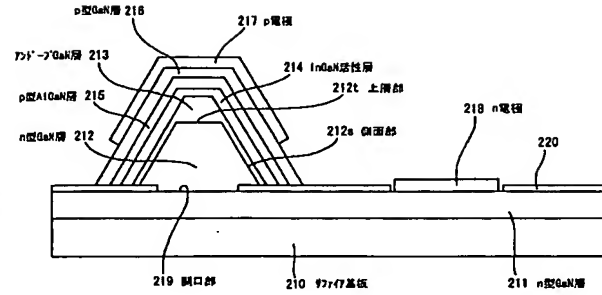
【図14】



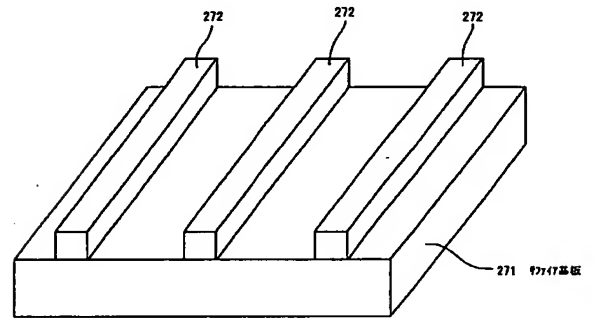
【図15】



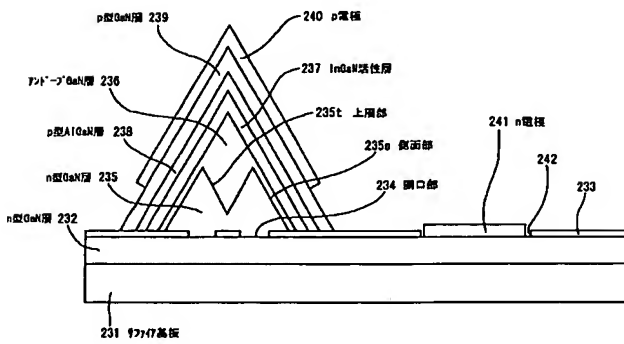
【図16】



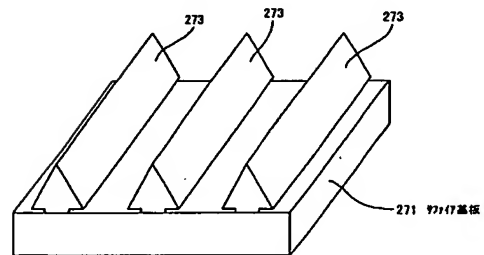
【図20】



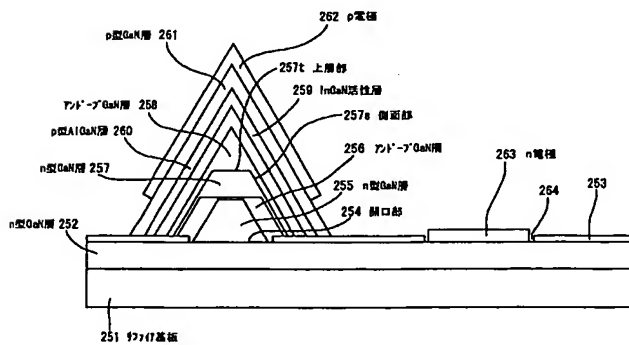
【図17】



【図21】

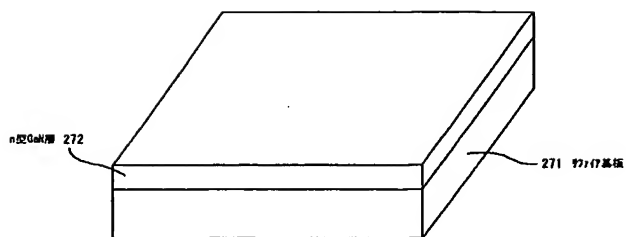


【図18】

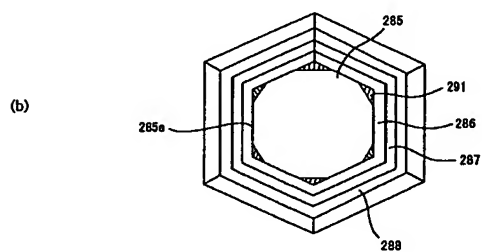
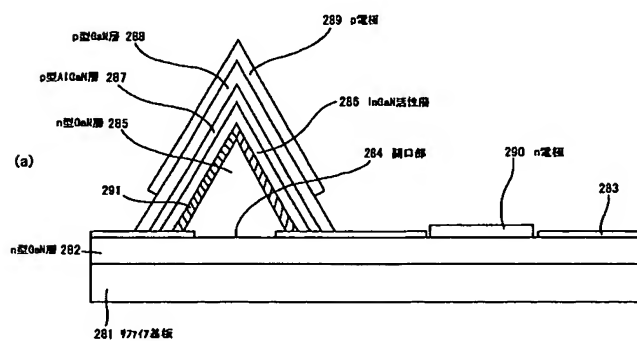




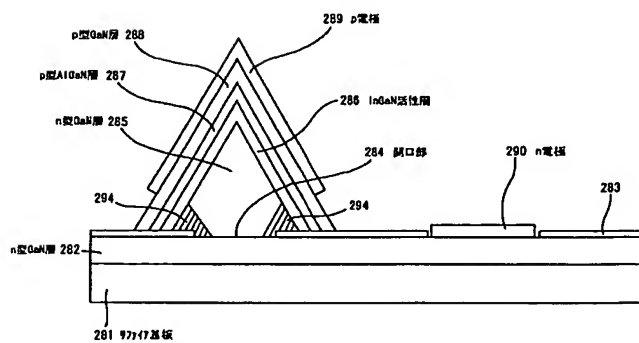
【図19】



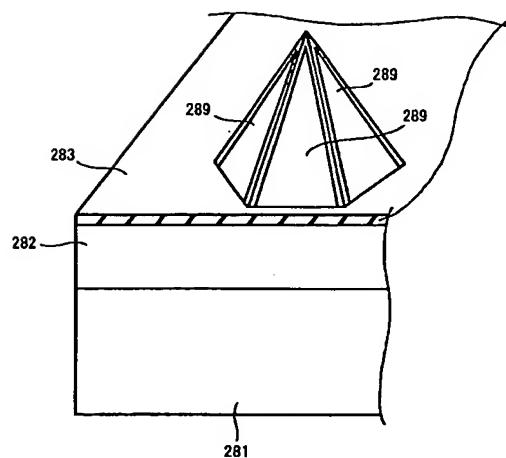
【図22】



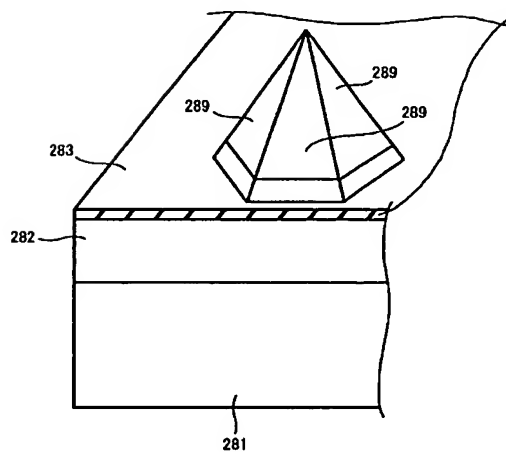
【図26】



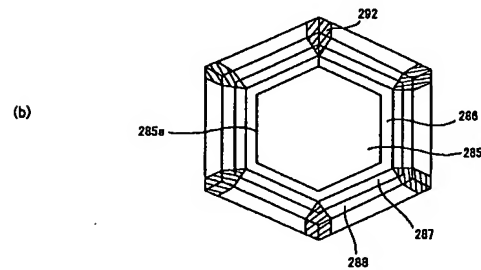
【図25】



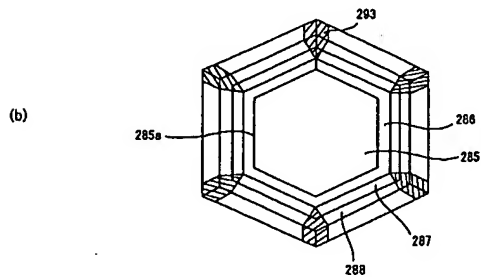
【図29】



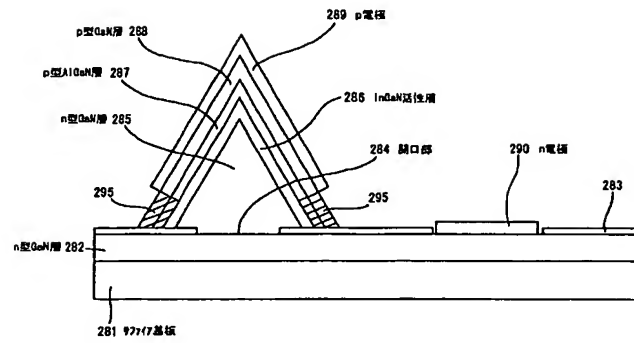
【図 23】



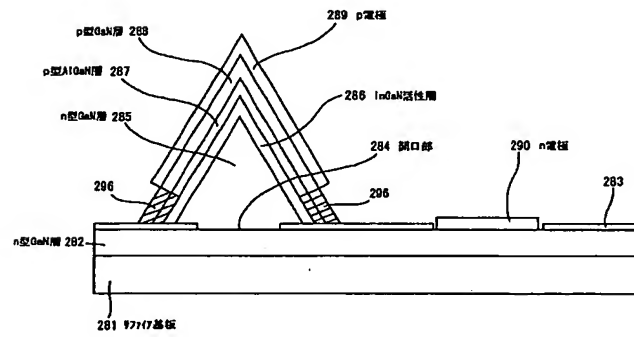
【图 2 4】



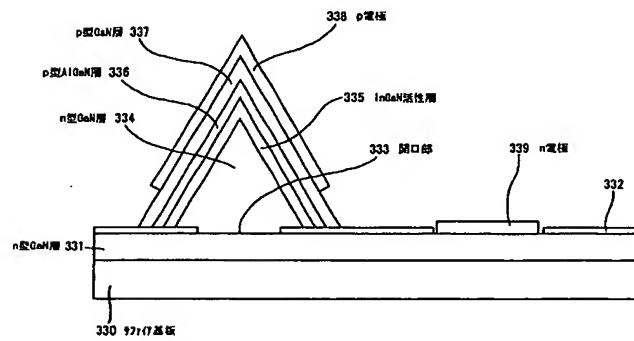
【図27】



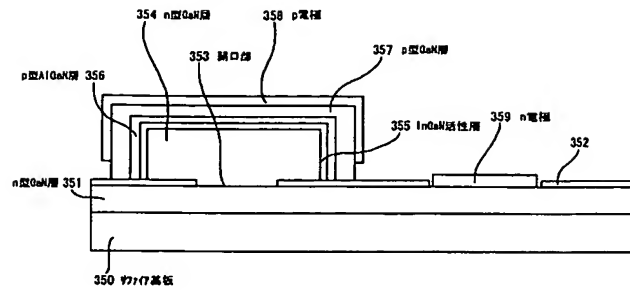
【図28】



【図30】



【図31】



フロントページの続き

(72)発明者 土居 正人  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(72)発明者 大畑 豊治  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA08 AA21 CA40 CA65  
CA66 CA85 CA92 CB22 DB08  
5F073 AA03 AA61 AB02 CA02 CB05  
CB14 CB22 DA05 DA21 EA24